

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Koncepční návrh využití odpadního tepla kogenerační jednotky
v zařízení na zpracování biomasy

Conceptual Design of the Using of Waste Heat from Cogeneration Unit
in Installation for Treatment of Biomass for Industrial Enterprise

Student:

Bc. Karel Goch

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Míka, CSc.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Karel Goch**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma: **Koncepční návrh využití odpadního tepla kogenerační jednotky v
zařízení na zpracování biomasy**
**Conceptual Design of the Using of Waste Heat from Cogeneration Unit
in Installation for Treatment of Biomass for Industrial Enterprise**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh na využití odpadního tepla kogenerační jednotky spalující bioplyn.

Práce bude obsahovat:

1. Analýzu spotřeby energií v současném stavu
2. Návrh využití přebytkového tepelného výkonu kogeneračních jednotek
3. Konstrukční návrh výměníku
4. Technicko – ekonomické zhodnocení řešení

Seznam doporučené odborné literatury:

Krbek J., Polesný B.: *Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice*, PC-DIR Real Brno 1999, ISBN 80-85895-23-4

Kysela, L., Tomčala, J.: *Ekonomika v energetice*. Ediční středisko. Ostrava: VŠB-TU, 2000. ISBN 80-7078-851-8

Kysela, L., Míka, J., Kyselová, S.: *Teplárenství*. Učební text. Katedra energetiky Ostrava, 2010.

ON 074017: *Tepelný výpočet parních kotlů*

Dlouhý T.: *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*, ČVUT Praha 2005, ISBN 978-80-01-03757-7

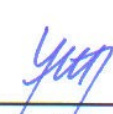
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Míka, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Karel Goch

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bavlnářská 2527, Frýdek-Místek

Písemné poděkování:

Poděkování při zpracování diplomové práce patří vedoucímu diplomové práce doc. Jiřímu Míkovi PhD. CSc.

Dále osobám zemědělského družstva Jeseník za poskytnuté materiály a podklady k vypracování diplomové práci a ke vstřícnému jednání a to: Ing. Gabriele Doupovcové, Marku Hanákovi a Bc. Janu Hutníkovi.



Oponentovi Ing. Martinu Šnajderovi z firmy CORAMEXPORT s.r.o.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

GOCH, K. Koncepční návrh využití odpadního tepla kogenerační jednotky v zařízení na zpracování biomasy : diplomová práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 58 s. Vedoucí práce: Míka, J.

Teoretická část diplomové práce seznamuje s pojmem kogenerace, jeho významem pro energetické účely, dělením a užíváním v jednotlivých oborech. Další částí je seznámení s bioplynovou stanicí v Jeseníku a s analýzou spotřeby energií za rok 2013. Poslední část se již zabývá dvěma možnými aplikacemi využití odpadního tepla, a to sušení řeziva a návrh teplovodu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

GOCH, K. Conceptual Design of the Using of Waste Heat from Cogeneration Unit in Installation for Treatment of Biomass for Industrial Enterprise : Master Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy Engineering, 2014, 58 p. Thesis Head: Míka, J.

The first part of master thesis gives an account of cogeneration its partition, importance for energy plant and usage. Second part describes of Jeseník biogas plant with analysis of energy consumption in 2013. And finally part describes of two conceptual theoretical waste heat design: drying of wood and building heat pipeline.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	8
0 Úvod.....	11
1 Význam kombinované výroby elektrické energie a tepla.....	13
1.1 Další přednosti kogenerace.....	15
1.2 Nevýhody kogenerace.....	16
2 Kogenerační jednotky.....	18
2.1 Konstrukční uspořádání jednotek	18
2.2 Dělení kogeneračních (teplárenských) jednotek.....	19
3 Aplikace využití kogenerace.....	20
3.1 Využití pro průmyslové a jiné odvětví.....	20
3.2 Využití pro budovy a objekty občanské vybavenosti.....	20
3.3 Využití pro velké energetické zdroje.....	21
3.4 Využití pro čistírny odpadních vod.....	21
4 Bioplynová stanice Jeseník.....	22
4.1 Popis uspořádání technologie bioplynové stanice Jeseník.....	22
5 Analýza spotřeby energií v současném stavu.....	24
5.1 Současná situace spotřeby elektrické energie	24
5.2 Současná situace spotřeby tepla.....	31
5.3 Současná situace zpracované organické hmoty v bioplynové stanici.....	35
5.3.1 Množství a druhy zpracovaného zemědělského materiálu.....	35
5.3.2 Přehled složení a výhřevnosti bioplynu.....	35
5.4 Souhrn analýzy.....	38
6 Návrh možného využití přebytečného tepla z kogenerační jednotky.....	38
6.1 Návrh zařízení pro sušení řeziva.....	39
6.1.1 Technická část sušení řeziva.....	39
6.1.2 Ekonomické zhodnocení projektu sušení dřeva.....	44
6.1.3 Závěrečné zhodnocení využití odpadního tepla k sušení řeziva.....	45
6.2 Návrh teplovodu pro vytápění a přípravu teplé vody.....	46
6.2.1 Technická část návrhu teplovodu.....	47
6.2.2 Ekonomické zhodnocení projektu teplovodu.....	53
6.2.3 Závěrečné zhodnocení využití odpadního tepla k zásobování tepla.....	53
7 Konstrukční návrh výměníku	55
8 Seznam použité literatury.....	56
9 Seznam příloh.....	57

Seznam použitých zkratk a symbolů

BPS	Bioplynová stanice
CH ₄	Metan
CO ₂	Kysličník uhličitý
CZT	Centrální zásobování tepla
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
DPH	Daň z přidané hodnoty
EES	Engineering Equation Solver (software)
ERÚ	Energetický regulační úřad
GPS	Siláž z celých rostlin (např. z obilnin)
H ₂ S	Sírovodík, sulfan
KGJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla
MWM	Tradiční německý výrobce motorů (firma)
O ₂	Kyslík
ORC	Organický Rankine-Clausiusův oběh
OZE	Obnovitelné zdroje energie
TV	Teplá voda
VYT	Vytápění
ZD	Zemědělské družstvo

Min.	Minimální
------	-----------

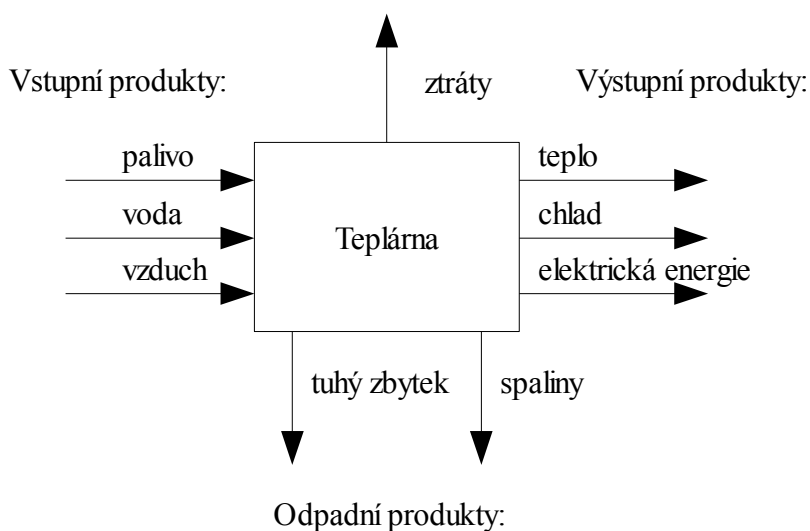
C	Měrná cena	[Kč · m ⁻³]
ČZ	Čistý zisk	[Kč]
D	Vnější průměr	[m], [mm]
E	Elektrická energie	[kJ]
HZ	Hrubý zisk	[Kč]
I	Investice	[Kč]

L	Délka	[m]
M	Hmotnost vztažena na emise	[kg]
N	Náklady	[Kč]
Q	Teplo	[kJ]
\dot{Q}	Tepelný tok	[kW]
R_e	Mez kluzu materiálu	[MPa]
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
SD	Sazba daně	[%]
V	Výnos	[Kč]
c	Měrná tepelná kapacita	[kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹]
c ₁	Přídavek na korozi	[mm]
c ₂	Přídavek na výrobní nepřesnosti	[mm]
c _{II}	Míjivé zatížení materiálu	[1]
d	Vnitřní průměr potrubí	[m]
e	Teplárenský modul	[1]
i	Entalpie	[kJ · kg ⁻¹]
k	Bezpečnost materiálu	[1]
k	Součinitel prostupu tepla	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
k	Absolutní drsnost stěny	[mm]
\dot{m}	Hmotnostní tok	[m ³ · rok ⁻¹], [kg · s ⁻¹]
p	Tlak	[Pa], [kPa], [MPa]
p _z	Ztrátový tlak	[Pa]
q _{lm}	Měrná tepelná ztráta	[W · m ⁻¹]
t	Tloušťka	[m], [mm]
t	Teplota	[°C]
v _s	Součinitel svarového spoje	[mm]
w	Rychlost látky v potrubí	[m · s ⁻¹]
H ₂ O	Voda	
e	Externí	
el.	Elektrická energie (elektřina)	

elektrárna	Energetické zařízení	
es	Střední hodnota exteriéru	
is	Střední hodnota interiéru	
max.	Maximální, maximálně	
min.	Minimální, minimálně	
motor	Motor	
n	Index, za který se dosadí číslo od 1 ... n	
n	Normovaný	
n	Nový	
prům.	Průměrný	
příkon	Příkon energetického zařízení	
smrk	Smrk	
sušení	Sušení	
tep.	Teplo	
teor.	Teoretický	
teplárna	Energetické zařízení	
úspora	Myšleno energetická úspora	
výkon	Výkon energetického zařízení	
výměník	Tepelný výměník	
výtopna	Energetické zařízení	
x	Znak k dosazení některých emisních plynů (CO ₂ , SO ₂)	
zemina	Zemina, povrch	
η	Účinnost transformace	[%]
λ	Součinitel tření	[1]
ν	Kinematická viskozita	[m ² · s ⁻¹]
π	Ludolfovo číslo	[1]
ρ	Hustota látky	[kg · m ⁻³]
$\sigma_{D,t}$	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
τ	Doba, čas	[d], [h], [s]

0 Úvod

Snaha co nejvíce využít chemické energie zakonzervované v pevném, kapalném nebo plynném palivu k vygenerování ušlechtilé elektrické energie a k možnému zužitkování tepla, kráčí některé podniky v průmyslovém odvětví cestou ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla, popřípadě i k produkci chladu. Jejich cíl je jasný. Snaží se snížit své vlastní náklady v energetickém hospodářství nebo chtějí tyto výstupní produkty (celé nebo nadbytky) prodávat a to: buď nákupem energetického paliva, a nebo zužitkují energii v odpadních látkách vzniklé vlastní činností.



Obrázek 1: Balance produktů v teplárně (kogenerační jednotce)

V energetických zařízeních, kde dochází k produkci tepla a elektrické energie nazýváme teplárnami nebo také kogeneračními jednotkami (KGJ) a procesu získávání tepla a elektrické energie říkáme zjednodušeně a výstižně cizím slovem kogenerace, které tak nahrazuje dlouhé vyjádření kombinované výroby tepla a elektrické energie (KVET). Základní bilanci takové teplárny je možné ukázat na obrázku 1 výše.

Zjednodušeně a nejčastěji lze popsat proces teplárenské výroby (v podstatě se to týká všech energetických zařízení) tak, že spalováním energetického paliva (jeho oxidací) dochází k uvolňování tepla. Tedy k přeměně chemické energie vazeb na teplo. Toto teplo obsažené v plynných spalínách má vysokou teplotu na to, abychom vzniklé horké spaliny nevyužili. Buď se samotné horké spaliny přímo podílejí na roztočení energetického stroje (spalovací turbíny a motory) a tím i na roztočení generátoru nebo k roztočení stroje a generátoru používáme jiné teplonosné látky (organická látka, vodní pára).

Jinou možností je sloučení těchto dvou činností dohromady za vzniku tzv. paroplynového cyklu, kde za spalovací komorou napřed vzniklé horké spaliny roztočí spalovací turbínu a generátor a stále teplé spaliny jsou vedeny do spalínového kotle, kde ohřejí teplonosnou látku vedenou na parní turbínu. Podle potřeby je možné vybavit kotel ještě pomocným hořákem k navýšení tepelných parametrů zařízení. A konečné zbytkové teplo je spotřebováno v místě teplárny (např.: technologie, výroba, vytápění, příprava teplé vody, příprava chladu) nebo je vyvedeno přes primární výměňkovou stanici v horké, teplé vodě nebo v páře do centrálního zásobování tepla (CZT) k vytápění a k přípravě teplé vody (obytné domy, průmysl) nebo pro technologické účely průmyslových podniků.

Přidáme-li ještě ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla produkci chladu, hovoříme už o trigeneraci. Trigenerace se plně využije v potravinářském průmyslu nebo ke chlazení strojů a je možné jej vyprodukovat buď pomocí kompresoru, anebo absorpcí látek.

U kompresorového chlazení je plynná látka s nízkým tlakem a teplotou kompresorem stlačena do vysokých tlaků a teplot, která odchází do kondenzátoru, kde se plyn mění v kapalinu a teplo odchází mimo oběh. Tato kapalina s již nízkou teplotou dále pokračuje k redukčnímu ventilu, který jej seškrtí na nízký tlak. Posledním členem je výparník. Ve výparníku na sebe kapalina převezme teplo z ochlazovaného prostředí a pokračuje opět do kompresoru, aby se celý termodynamický proces uzavřel.

Absorpční chlazení je na tom obdobně, jenom místo kompresoru využíváme dvou látek chladiva a absorbentu. Do vypuzovače je přiváděno teplo, které oddělí absorbent (látka s vysokým bodem varu) od chladiva (látka s nízkým bodem varu). Zatímco plynné chladivo o vysokém tlaku postupně prochází kondenzátorem (změna skupenství s odvodem tepla) přes redukční ventil (snížení tlaku) až k výparníku (změna skupenství s přívodem tepla), absorbent v kapalné podobě je pouze seškrčen v redukčním ventilu (snížení tlaku) a to proto, aby obě látky se mohly v absorbéru smíchat a vytvořit opět kapalnou směs, která se s oběhovým čerpadlem přesune do vypuzovače (změna skupenství chladiva s odvod tepla), kde se celý termodynamický cyklus opakuje. Mezi nejčastější látky se využívají:

chladio NH_3 – absorbent H_2O

chladio H_2O – absorbent roztoku $\text{H}_2\text{O-LiBr}$

chladio H_2O – absorbent NaOH

chladio H_2O – absorbent $\text{H}_2\text{O-LiCl}$

1 Význam kombinované výroby elektrické energie a tepla

Jeden z nejčastěji ukazovaných předností sdružené výroby tepla a elektrické energie je úspora tepla a tím i ztrát, které by vznikly u rozdělených energetických zařízení (výtopna a elektrárna). To lze ukázat na jednoduchém příkladu.

$$Q_{\text{úspora}} = Q_{\text{výtopna}} + Q_{\text{elektrárna}} - Q_{\text{teplárna}} \quad (1.1)$$

kde:

$Q_{\text{úspora}}$... uspořené teplo sdruženou výrobou [kJ]

$Q_{\text{výtopna}}$... teplo vyprodukované ve výtopně [kJ]

$Q_{\text{elektrárna}}$... teplo vyprodukované v elektrárně [kJ]

$Q_{\text{teplárna}}$... teplo vyprodukované v teplárně [kJ]

Tato rovnice popisuje úsporu v jednotkách kJ tepla, které vzniknou při použití teplárenského provozu a zaručení stejných výstupů z teplárny, jako by tyto výstupy zajišťovaly výtopna a elektrárna odděleně. Pro rozšíření tohoto vzorce použijeme i následující vzorce, které popisují kvalitu transformace v daném zařízení.

$$\eta_{\text{výtopna}} = \frac{Q_{\text{tep.}}}{Q_{\text{výtopna}}} \quad (1.2)$$

kde:

$Q_{\text{tep.}}$... teplo dodané do tepelné sítě [kJ]

$Q_{\text{výtopna}}$... teplo vyprodukované ve výtopně [kJ]

$\eta_{\text{výtopna}}$... účinnost výtopny [1]

$$\eta_{\text{elektrárna}} = \frac{E_{\text{el.}}}{Q_{\text{elektrárna}}} \quad (1.3)$$

kde:

$E_{\text{el.}}$... elektrická energie dodaná do elektrizační sítě [kJ]

$Q_{\text{elektrárna}}$... teplo vyprodukované v elektrárně [kJ]

$\eta_{\text{elektrárna}}$... účinnost elektrárny [1]

$$\eta_{\text{teplárna}} = \frac{E_{\text{el.}} + Q_{\text{tep.}}}{Q_{\text{teplárna}}} \quad (1.4)$$

kde:

$Q_{\text{teplárna}}$... teplo vyprodukované v teplárně [kJ]

$Q_{\text{tep.}}$... teplo dodané do tepelné sítě [kJ]

$\eta_{\text{teplárna}}$... účinnost teplárny [1]

$E_{\text{el.}}$... elektrická energie dodaná do elektrizační sítě [kJ]

Dosazením rovnic 1.2, 1.3 a 1.4 do rovnice 1.1 a po matematických úpravách vyjde nový vztah:

$$Q_{\text{úspora}} = E_{\text{el.}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{elektrárna}}} - \frac{1}{\eta_{\text{teplárna}}} \right) + Q_{\text{tep.}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{výtopna}}} - \frac{1}{\eta_{\text{teplárna}}} \right) \quad (1.5)$$

kde:

$Q_{\text{úspora}}$... uspořené teplo sdruženou výrobou [kJ]

$Q_{\text{tep.}}$... teplo dodané do tepelné sítě [kJ]

$E_{\text{el.}}$... elektrická energie dodaná do elektrizační sítě [kJ]

$\eta_{\text{výtopna}}$... účinnost výtopny [1]

$\eta_{\text{elektrárna}}$... účinnost elektrárny [1]

$\eta_{\text{teplárna}}$... účinnost teplárny [1]

Zavedeme ještě vztah teplárenského modulu, který vyjadřuje produkci elektrické energie k produkci tepla v energetickém zařízení. Vyšší hodnota modulu ukazuje vyšší produkci elektrické energie za konstantní nebo snížené výroby tepla, což je žádoucí, jak si ukážeme v dalším popisu.

$$e = \frac{E_{\text{el.}}}{Q_{\text{tep.}}} \quad (1.6)$$

kde:

e ... teplárenský modul [1]

$Q_{\text{tep.}}$... teplo dodané do tepelné sítě [kJ]

$E_{\text{el.}}$... elektrická energie dodaná do elektrizační sítě [kJ]

Potom po úpravě vyjde výsledný vztah:

$$\frac{Q_{\text{úspora}}}{Q_{\text{tep}}} = e \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{elektrárna}}} - \frac{1}{\eta_{\text{teplárna}}} \right) + \left(\frac{1}{\eta_{\text{výtopna}}} - \frac{1}{\eta_{\text{teplárna}}} \right) \quad (1.7)$$

kde:

$\eta_{\text{výtopna}}$... účinnost výtopny [1]

$\eta_{\text{elektrárna}}$... účinnost elektrárny [1]

$\eta_{\text{teplárna}}$... účinnost teplárny [1]

$Q_{\text{úspora}}$... uspořené teplo sdruženou výrobou [kJ]

Q_{tep} ... teplo dodané do tepelné sítě [kJ]

Výsledkem je informace, že relativní úspora tepla poměr $Q_{\text{úspora}}$ k Q_{tep} , je v konečném důsledku závislá na dvou proměnných, teplárenském modulu a účinnosti kogenerace (účinnosti výtopny a elektrárny považují za nezměnné). Lepší přehled ukazuje graf 1.1 níže.

1.1 Další přednosti kogenerace

Kromě výše zmíněné úspory na teple je jeho ekvivalentem také úspora na vstupním palivu a snížení škodlivých emisí vypouštěných do ovzduší. Další přednosti však určují konkrétní druhy kogenerace.

$$\frac{M_{\text{úspora}}^x}{Q_{\text{tep}}} = e \cdot \left(\frac{m_{\text{elektrárna}}^x}{\eta_{\text{elektrárna}}} - \frac{m_{\text{teplárna}}^x}{\eta_{\text{teplárna}}} \right) + \left(\frac{m_{\text{výtopna}}^x}{\eta_{\text{výtopna}}} - \frac{m_{\text{teplárna}}^x}{\eta_{\text{teplárna}}} \right) \quad (1.8)$$

kde:

$M_{\text{úspora}}^x$... hmotnostní úspora emise, kde za x může být CO_2 , SO_2 [kg]

$m_{\text{elektrárna}}^x$... hmotnost emise x vzniklé v elektrárně [kg]

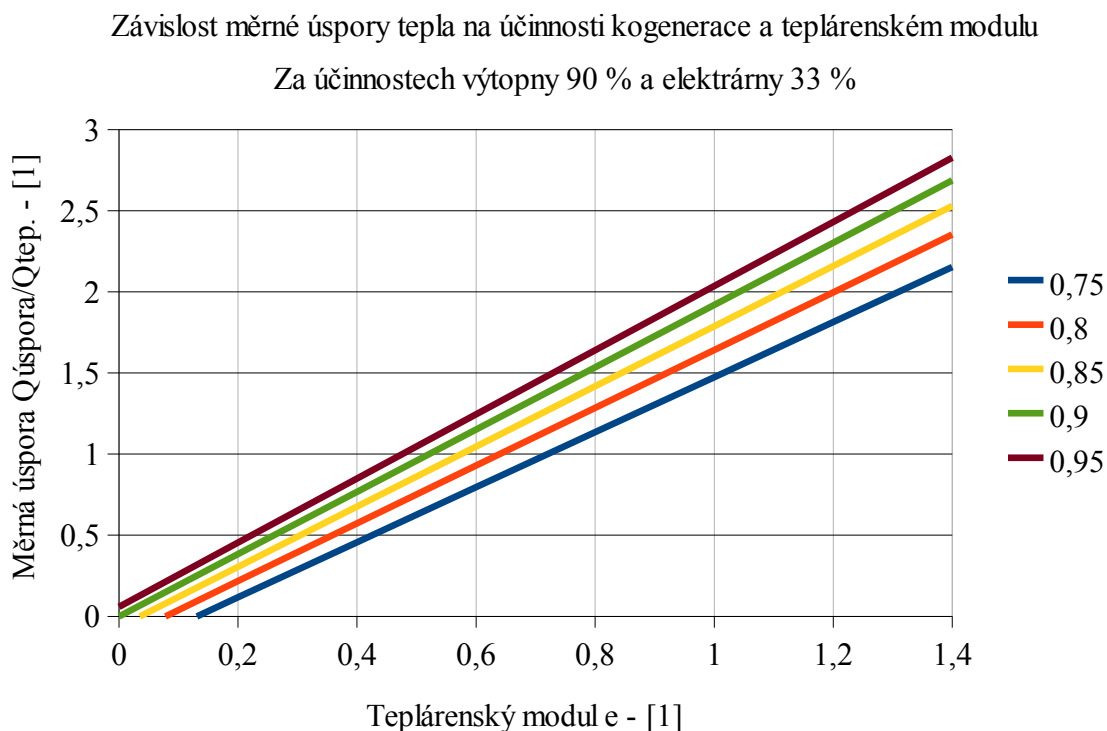
$m_{\text{výtopna}}^x$... hmotnost emise x vzniklé ve výtopně [kg]

$m_{\text{teplárna}}^x$... hmotnost emise x vzniklé v teplárně [kg]

$\eta_{\text{výtopna}}$... účinnost výtopny [1]

$\eta_{\text{elektrárna}}$... účinnost elektrárny [1]

$\eta_{\text{teplárna}}$... účinnost teplárny [1]



Graf 1.1: Vliv měrné úspory na teplotě modulu a účinnosti kogenerace

1.2 Nevýhody kogenerace

I když byly zmíněné škodlivé emise, které vlivem kogenerace klesnou, je tento fakt třeba zahrnout v globálním měřítku. Bude-li zařízení postaveno a provozováno mimo velká aglomerace měst a průmyslu, mohou lokálně i narůst nečistoty v oblasti. Např. u malých kogeneračních jednotek s instalovanou malou výškou komínů a vyšší hranici emisních limitů oproti např. plynových kotlů [13]. Většího významu k úspoře emisí se tedy dočkají místa, kde dojde k instalaci kogeneračních jednotek na místo doposud stávajících elektráren a výtopen.

Za ekonomické nevýhody se považují vysoké vstupní náklady na pořízení, které je nutné jednorázově zaplatit. Aby se tyto vložené investice co nejrychleji vrátily, je potřeba, aby zařízení byla plně využita v co nejdelší možnou dobu. Ovšem to neplatí vždy. Je třeba si uvědomit, že pokud by kogenerační jednotka byla aplikována v průmyslu pro jednu směnu, která pro svůj provoz vyžaduje vysokou spotřebu tepla a elektrické energie. Je na místě navrhnout tuto jednotku pro konkrétní směnu a snížit tak náklady za odběr elektřiny a tepla [16]. Jinou alternativou by bylo, aby jednotka dodávala určité množství elektrické energie a špičky by byly kryty ze sítě.

Dalším negativním ukazatelem je vzájemná propojenost tepla a elektrické energie, jinak řečeno, pokud bylo zařízení dimenzováno a provozováno na stávající odběr v podniku, jakékoliv zvýšení nebo snížení odběru jednoho produktu, vyvolá změnu druhého, často v neprospěch výroby elektrické energie a tím i snížení účinnosti zařízení, při nezměněné spotřebě paliva.

Závěrem lze říci, že záleží na konkrétní situaci v podniku, ve kterém bude tato kogenerační jednotka provozována a jaké přínosy se od ní očekávají. Nutné je opět zdůraznit, že v teplárenské provozu jsou teplo a elektrická energie vzájemně propojené. V kogeneračních jednotkách tak dochází k určitému poměru výroby a vždy je jedna z nich tou hlavní, která je brána přednostně a vyžadována a ta druhá závislou. Dělí se:

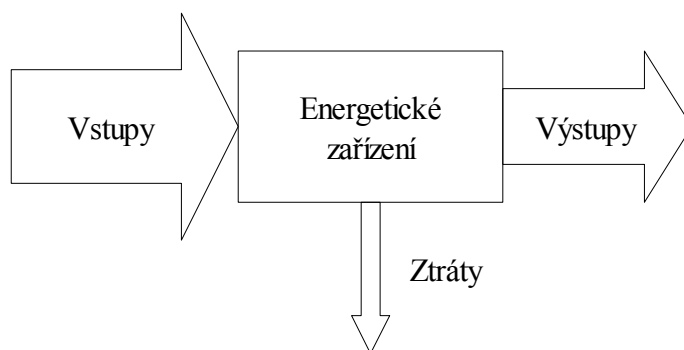
- podle spotřeby elektrické energie, kde závislou veličinou je teplo
- podle spotřeby tepla, kde závislou veličinou je produkce elektrické energie

První případ nastává u průmyslových podniků, kde se snažíme hlavně snížit spotřebu za odebranou elektřinu, a proto jsou jednotky navrhovány ke kopírování vlastní spotřeby elektrické energie a teplo se zužitkuje při vytápění, přípravě teplé vody, technologie.

Druhý případ je typický pro teplárny s centrálním zásobováním tepla (CZT), kde kogenerační jednotky fungují jako zdroj tepla namísto např. teplovodních kotlů. Vyrobená elektrická energie je prodávána do sítě, a proto v těchto aplikacích musí být jednotky upřednostňovány před levnějšími kotli.

Lze však obecně říci, že i když požadujeme pro konkrétní podnik určitý přednostní druh energie, ekonomické výhodnosti dosáhneme ve dvou bodech:

- kromě vyrobené elektrické energie maximálně využít i teplo
- teplo a elektrická energie musí být maximálně zhodnoceny



Obrázek 2: Zjednodušený přehled energetické bilance

I když víme, že teplo a elektrická energie jsou si vzájemně závislé v určitém poměru a podle našich požadavků se snažíme jednu na druhé upřednostňovat, nedaří se nám plně tyto dva ekonomické body splňovat.

A pro vstupní hodnoty:

- snížit cenu nakupovaného paliva
- využít energetického obsahu vlastních odpadů

2 Kogenerační jednotky

Kogenerační jednotky (teplárenské jednotky) jsou energetická zařízení s širokou škálou elektrických výkonů v rozmezí $0,01 \div 10 \text{ MW}_e$ [15], [6] (ve světě) pro spalovací motory, ovšem častěji v rozsahu $0,02 \div 5 \text{ MW}_e$ [5], [14], [6] (v ČR) a pro parní motory $0,02 \div 1 \text{ MW}_e$ [15]. V rozmezí $1 \div 250 \text{ MW}_e$ [14], [15] jsou dodávány spalovací turbíny, naproti tomu vysokých parametrů dosahují parní turbíny s hodnotami $5 \div 300 \text{ MW}_e$ [15] pro odběrovou kondenzační turbínu a pro protitlakou turbínu s rozestupem $0,1 \div 100 \text{ MW}_e$ [15].

Jiné zdroje [5], [13] mohou uvádět rozdíl mezi kogeneračními jednotkami a teplárenskými jednotkami. Kogenerační jednotkou jsou tak myšleny energetická zařízení se středními a malými výkony s aplikací spalovacích turbín a motorů. Zatímco u teplárenských jednotek hovoříme o vysokých výkonech s parními turbínami, popřípadě i se spalovací turbínou ve spojení s paroplynovou teplárnou.

2.1 Konstrukční uspořádání jednotek

Z dlouholetých vývojů jednotek, které se v minulosti objevovaly, se uspořádání těchto jednotek, na základě zkušenostech zákazníků a požadavků, ustálilo ve dvou základních variantách:

- stavebnicové uspořádání
- modulové uspořádání

Stavebnicové uspořádání umožňuje instalaci KGJ z jednotlivých základních dílů, které vytvoří požadovaný celek. Jaké díly budou na místě smontovány, záleží na požadavcích zákazníka a zkušenostech projektanta, kteří tak mohou poskládat celou

jednotku do rozměrově omezené budovy nebo místnosti. Tato aplikace umožní snadný přístup ke kontrole a údržbě. S ohledem na rozměry a hmotnosti, které by v modulovém sestavení nebylo možné přepravit, aplikuje se u jednotek s elektrickým výkonem nad 1 MW_e [13].

Modulové uspořádání nabízí základní díly sestavené a uskladněné v protihlukovém kontejneru s danými rozměry, díky kterým není nutné dodatečně provést stavební úpravy na odhlučnění místnosti jako v případě stavebnicového sestavení. Nespornou výhodou je tak rychlé napojení na přípojný body a uvedení jednotky do provozu. Modulové uspořádání se uplatňuje především u menších jednotek zhruba do 200 kW_e [16]. Ovšem mohou být i ve vyšších výkonech, kde se umísťují ve venkovních prostorech. Oproti stavebnicovému řešení nabízí obtížnější přístupy k opravám a výměnám.

2.2 Dělení kogeneračních (teplárenských) jednotek

Kogenerační jednotky lze rozdělit do mnoha skupin podle různých účelů a druhů. Všechny mají však stejný cíl vyprodukovat elektrickou energii a teplo, ke kterému jsou konstruovány. Podle literatury [5], [14], [15], [13], [12], [11] lze rozdělit zdroje pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla.

Podle nejčastěji používaného pohonu:

- KVET se spalovacím motorem na plynná paliva
- KVET se spalovacím motorem na kapalná paliva
- KVET s parním motorem
- KVET se spalovací turbínou na plynná paliva
- KVET s parní turbínou
- paroplynový cyklus

Podle jiných pohonů:

- KVET s mikroturbínami
- KVET se Stirlingovým motorem
- systém Talbott
- KVET s ORC turbínou

Podle rozšíření využití kogenerace:

- s tepelným čerpadlem

- s absorpčním chlazením → trigenerace
- s kompresorovým chlazením → trigenerace

Podle jiného principu získávání elektrické energie a tepla:

- s palivovými články

3 Aplikace využití kogenerace

3.1 Využití pro průmyslové a jiné odvětví

Zde se jedná hlavně o provozy, které vyžadují pro své technologie mnoho tepla v podobě páry a horké vody o příslušných parametrech (hutní, chemický a cementářský průmysl) a to hlavně ve třisměnných provozech, takže potřeba tepla může být rovnoměrná. Tento těžký průmysl vyžaduje i mnoho elektrické energie pro čerpadla, kompresory a jiné pohony. Využití zde najdou převážně parní a spalovací turbíny spalující vysoce výhřevná paliva. Strojírenský průmysl využívá teplo oproti těžkému průmyslu hlavně pro vytápění a přípravu teplé vody, ovšem pro výrobní stroje (kovoobráběcí stroje, lisy, ...) vyžaduje vysokou poptávku po elektřině. Zatímco předcházející strojírenský a hutní průmysl, nemá - li jak zhodnotit například své vlastní odpadní plyny, palivo nakupuje, potravinářský, papírenský, dřevozpracující a zemědělský průmysl může využít kogenerace při spalování vlastních odpadních materiálů, který při procesech výroby produktů vzniká, tím uspoří za vstupní palivo a energeticky je i zhodnotí k výrobě tepla a elektřiny. Teplo tak poslouží k vlastnímu využití při sušení, vytápění, ohřevu vody, chlazení (potraviny) nebo při výrobě plynného paliva (dřevoplyn, bioplyn). Tuhý zbytek může posloužit jako hnojivo. Uplatnění zde najdou spalovací motory nebo spalovací turbíny.

3.2 Využití pro budovy a objekty občanské vybavenosti

Uplatnění kogenerace se najde také ve veřejných budovách. Největším spotřebitelem elektrické energie a tepla jsou nemocnice a jiná zdravotnická zařízení, která elektrickou energii potřebují pro svůj vlastní provoz (zdravotnické přístroje, osvětlení, vzduchotechnika, ...). S poměrně stálou koncentrací osob v budovách je i spotřeba tepla rovnoměrná a stálá s mírným poklesem o svátcích a víkendech. I tak vyžadují mnoho tepla pro vytápění, přípravu vody (bazény, koupelny, praní), větrání, sušení prádla a chlazení

(kryogenní místnosti, uchovávání biologického materiálu, ...). Velice důležité je také instalace záložní jednotky v případě výpadku jiné jednotky nebo výpadku elektrické energie ze sítě. Podobně s odběrem tepla a elektrické energie na tom jsou s menšími odlišnostmi i obchodní domy, vysoké školy, hotely a penziony. Zřejmě menšího zájmu a uplatnění mohou najít v základních a středních školách, administrativních budovách, s minimálním odběrem během odpoledních a večerních hodinách a mimo otopné období. Právým opakem jsou rodinné domy a bytové domy, kde je zase menší zájem o teplo a elektřinu v ranních hodinách. Tento nedostatek by se dal kompenzovat akumulací tepla.

3.3 Využití pro velké energetické zdroje

Ve velkých energetických zdrojích se uplatňují hlavně parní turbíny a to protitlaké turbíny a kondenzační odběrové turbíny. U moderních tepláren také kombinace parní a spalovací turbíny v tzv. paroplynovém cyklu. Mnohé velké teplárny k získání páry spalují u nás stále ještě hnědé nebo černé uhlí. Z důvodu tlaku na čistotu životního prostředí a dodržení emisních limitů, dochází ke kombinaci spalování uhlí-biomasy, uhlí-odpadu. V jiných případech se staré nebo již nevyhovující energetická zařízení (výtopna, teplárna nebo elektrárna) přebuduje na spalování biomasy nebo zemního plynu. Vyrobená elektrická energie se z části využije k vlastnímu provozu zdroje, zbytek směřuje do veřejné sítě. Potřebné teplo se odebírá z turbín v podobě páry a za turbínou v podobě horké vody a přes výměňkové stanice rozesílá spotřebitelům. Díky rozmístění těchto velkých zdrojů do měst a vybudování rozvodných sítí po městě v minulém století, slouží tyto rozvody stále k centralizovanému zásobování tepla, nejčastěji k vytápění a přípravě teplé vody.

Mezi velké energetické zdroje řadíme i spalovny komunálního a průmyslového (nebezpečného) odpadu. Jejich prioritou je redukce a likvidace odpadu a jeho případného energetického využití. Elektrická energie stejně jako u velkých tepláren pokryje vlastní spotřebu, teplo může být využito pro vlastní spotřebu nebo v CZT. Tyto spalovny jsou častěji budovány na „zelené louce“.

3.4 Využití pro čistírny odpadních vod

Čistírny odpadních vod jsou vodohospodářskými objekty, které patří mezi dlouhodobě využívané kogenerace. Při čištění vody vzniká z biologického odpadu (lidskou činností, z potravinářského a zemědělského průmyslu) ve vyhnívací nádrži anaerobní činností kalový plyn. Tento kalový plyn se spaluje ve spalovacích motorech nebo spalovacích

turbínách. Jelikož procesy čištění a úpravy vod jsou energeticky náročné, je vyžadováno, aby spotřeba kryla výrobu elektrické energie v kogeneračních jednotkách. Teplo je využíváno pro vytápění a přípravu teplé vody v objektech ČOV a k procesům získávání kalu. Přebytný kalový plyn se jímá do plynojemů nebo spaluje ve „fléře“. Stabilizovaný kal s minimálním obsahem vody je možné spalovat ve spalovně pro další energetické využití, popřípadě po kladném hygienickém rozboru použít jako hnojivo. Kal vzniklý ze zemědělského a potravinářského průmyslu splňuje většinou hygienické předpisy.

4 Bioplynová stanice Jeseník

Bioplynová stanice Jeseník leží ve vesnici zvané Bukovice, která je jednou ze tří městských částí lázeňského města Jeseník. Malebným místem protéká horská řeka Bělá, která se klikatí podhůřím Hrubého Jeseníku. Stanice tak pracuje nejen v nadmořské výšce okolo 420 m [25], ale také v oblasti s nízkými průměrnými teplotami a s dostatečnou roční vláhou okolo 1 000 mm srážek [24]. Za těchto podmínek obhospodařuje zdejší plochy zemědělské družstvo Jeseník, vlastník stanice. Rozloha jejich okolních pozemků dosahuje výměry 1 912 ha zemědělské plochy [23], a tak je činnost zaměřená především na zdejších klimatických podmínkách. Mezi ně patří rostlinná výroba (pěstování krmiv pro dobytek), živočišná výroba (chov masného a mléčného dobytka, chov ovcí a koz), pěstování okrasných rostlin a dřevin v okrasných školkách a služby spojené s činností dopravy, opravy zemědělské techniky a prodeje náhradních dílů).

Firma, která realizovala projekt a stavbu, Johann Hochreiter s.r.o., patří mezi několik firem v republice, zabývajících se bioplynovými stanicemi. Jejich předností je využívání dlouholetých zkušeností a technologií známé německé firmy Biogas Hochreiter GmbH. Technologie Hochreiter se tak vyznačují univerzálností při zpracování jakýchkoliv vstupních materiálů bez ohledu na předúpravu a jednoduchým uspořádáním kruhových nádrží při zpracovávání biologicky rozložitelného materiálu. Společně s dalšími kvalitními a spolehlivými komponenty ke stanicím tvoří celek s dlouholetou životností při zajištění nízké provozní spotřeby [22].

4.1 Popis uspořádání technologie bioplynové stanice Jeseník

Celý komplex lze ilustrativně znázornit na schématu přiložený v přílohách. Na vstupu je tvořen otevřeným dávkovacím zařízením Fliegl, které biologický odpad bez počáteční úpravy skladuje, míchá a dopravuje k dalšímu zpracování do fermentoru. Materiál,

zpracovávány ve stanici, je tvořen hlavně směsí hovězí kejdy, chlévské mrvy, obilné GPS a travní siláže. Více o vstupním materiálu v kapitole 5.3 „Současná situace zpracované organické hmoty v bioplynové stanici“, na straně 35.

Robustním šnekovým dopravníkem se tuhá část odpadu přesouvá do hlavního železobetonového fermentoru typu Wolf s účinným objemem 2 488 m³. Kruh fermentoru, do kterého vstupuje šnekovým dopravníkem odpad, je míchán horizontálním pádlovým míchadlem Mississippi s motorem umístěným na obvodu fermentoru a vertikálním pádlovým míchadlem s motorem umístěným na střešním kruhu fermentoru. Tekutá část odpadu je dopravována do fermentoru ze vstupních jímek a silážní jímky.

Bioplyn, který vzniká anaerobní činností mikroorganismů, je po odsíření ve fermentoru veden přes chladič bioplynu, umístěný na střeše fermentoru, který odseparuje vodní páru. Odvodněný a odsířený bioplyn je následně přepraven do zděné budovy s kogenerační jednotkou. Vzniklý kondenzát z chlazení je vrácen do fermentoru. Přebytečný vzniklý plyn je akumulován pod kupolovitou plachtou do fermentoru nebo po zchlazení je spalován ve zbytkovém bezpečnostním hořáku „fléře“.

Mezi fermentorem a dofermentorem je vybudována technická vestavba s centrálním čerpadlem a rozdělovačem kejdy. Tato stavba tvoří kalovou koncovku stanice. Spojením mezi všemi nádrži umožňuje doplňování a přečerpávání kejdy do příslušných míst.

Dofermentor, také železobetonový s účinným objemem 2 805 m³ slouží jednak k akumulaci bioplynu, ale také k dokončení fermentačního procesu, jehož tvorba je sice menší, ale s bohatým obsahem metanu. Na dokončení procesu se stará dvojice ponorných míchadel. Jak dofermentor, tak fermentor jsou vytápěny teplou vodou z motoru přes mohutné nerezové potrubí na vnitřních stěnách, každý se svou tepelnou větví (2x fermentor a 1x dofermentor). Teplota je udržována podle potřeby v rozmezí mezofilní a termofilní oblasti.

Zděná odhlučňená technická budova v těsné blízkosti fermentoru a dofermentoru je dělena na dvě místnosti. V první místnosti je automatizovaný velín vybavený řídicí jednotkou a vizuálním provozem. Provoz stanice je možné sledovat a ovládat dálkově. Je také vybavena analyzátozem plyných složek v bioplynu (obsah metanu, sírovodíku a kyslíku po odsíření). Ve vedlejší místnosti leží na vibrační podložce spalovací motor MWM - Deutz s elektrickým výkonem 400 kW_e. Rovněž se zde nachází potrubní rozvody k chlazení motoru a směsi, které jsou chlazeny venkovními chladiči mezi dofermentorem a technickou budovou, a k vytápěním přilehlých objektů. Místnost je trvale větrána.

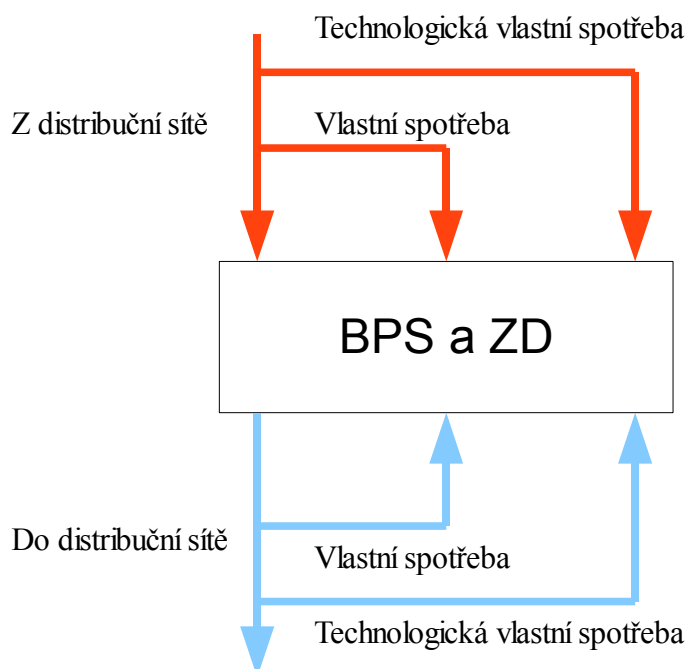
5 Analýza spotřeby energií v současném stavu

Úvodní analýza si klade za cíl zpracovat aktuální hodnoty zjištěné z technických přístrojů a z jiných vedených podkladů zemědělského družstva za účelem:

- vyhodnocení současné spotřeby elektrické energie,
- vyhodnocení stavu spotřeby tepla,
- vyhodnocení energie obsažené v bioplynu a zpracovaného množství hmoty,
- jeho grafického, popřípadě tabulkového přehledu,
- podkladu pro hlavní náplň a řešení diplomové práce
- a k vyhodnocení úspěšnosti možné aplikace vedoucí k navýšení tepelného využití bioplynové stanice.

5.1 Současná situace spotřeby elektrické energie

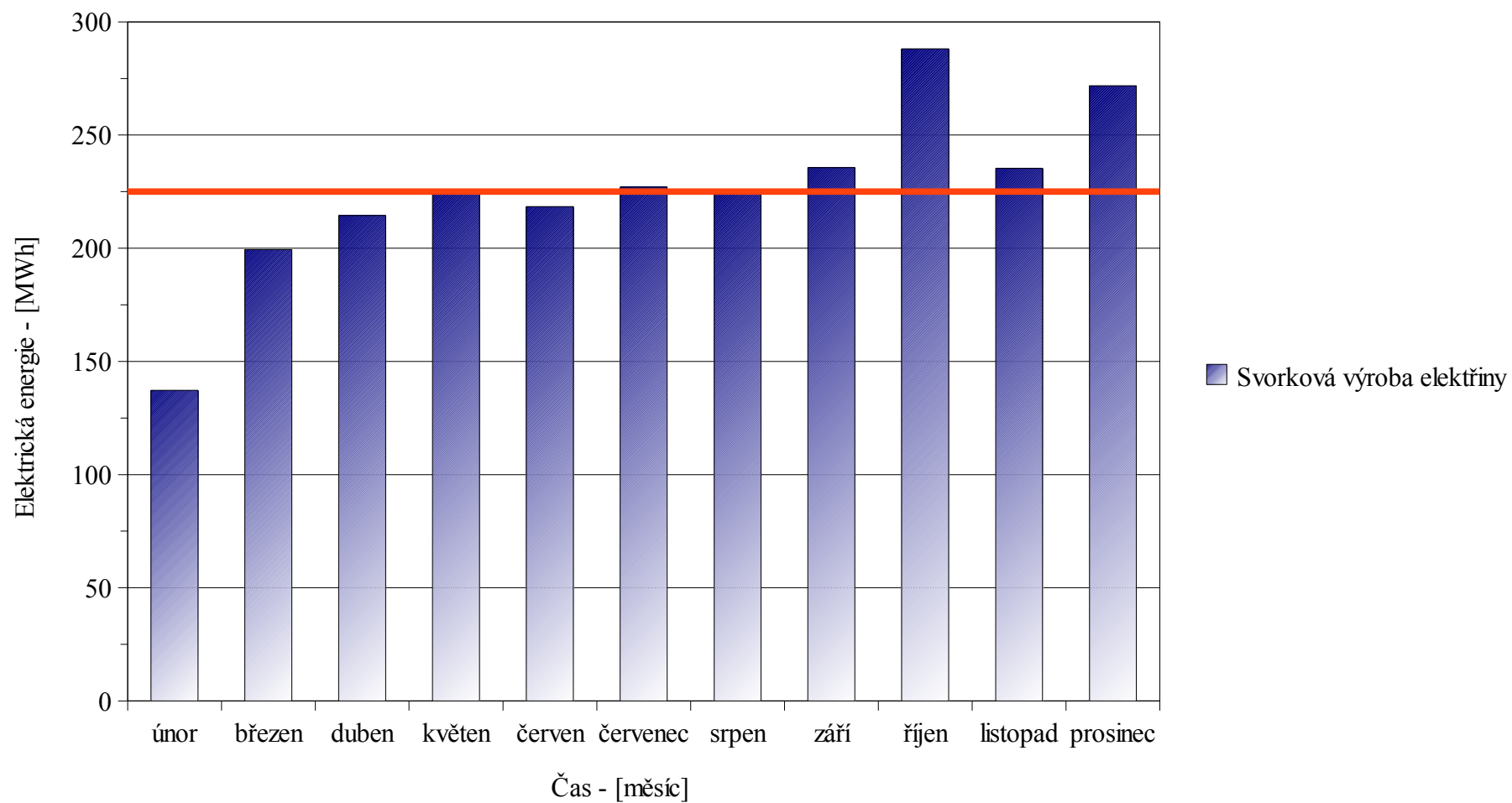
Bilance elektrické energie bioplynové stanice a zemědělského družstva je pro názornost znázorněna na obrázku 3 níže. První část vyrobené elektrické energie z kogenerační jednotky (modrá čára) se spotřebuje na samotnou výrobu elektrické energie, které s výrobou přímo souvisí. Je to tzv. vlastní technologická spotřeba. Druhá část je spotřebována uživateli v objektech družstva (osvětlení, elektrické spotřebiče, ...) jako tzv. vlastní spotřeba. Přebytková část je vyvedena do veřejné sítě ke koncovým uživatelům. V případě odstávky kogenerační jednotky nemůže být odstavena celá technologie zařízení, proto se potřebné toky nakupují z distribuční sítě (červená čára) do okamžiku než se opět zprovozní jednotka. Na toky elektrické energie zobrazené ve stejném obrázku, navazují výše zmíněné trendy (tedy technologická spotřeba, vlastní spotřeba, odběr z distribuční sítě a vyvedení do distribuční sítě), které jsou znázorněny v grafu 5.2, jehož další popis stejně jako graf jsou uvedeny níže.



Obrázek 3: Bilanční znázornění toků elektřiny

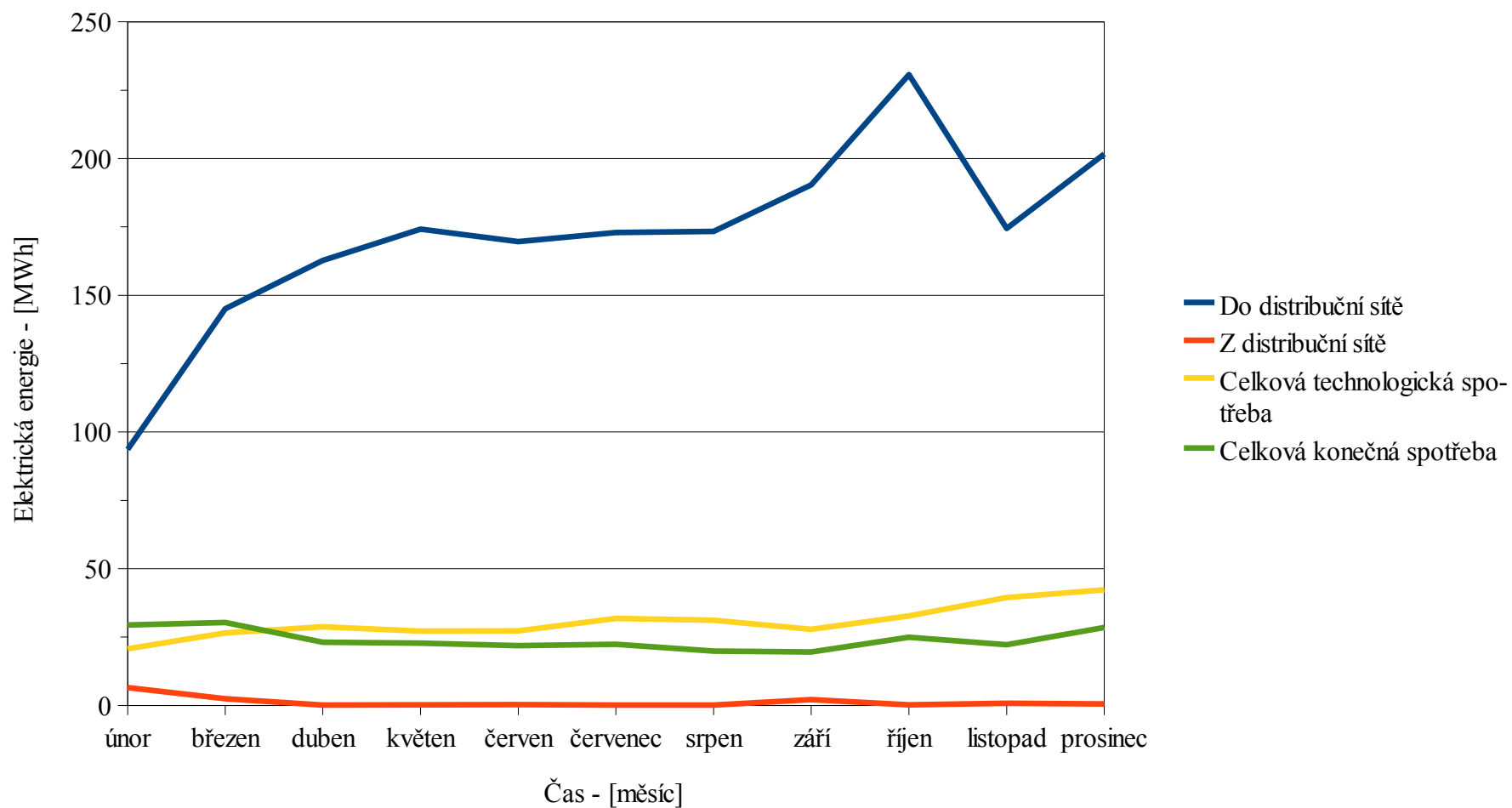
Současný stav produktivity kogenerační jednotky si můžeme ukázat na grafu 5.1 níže. Ten zobrazuje výrobu elektrické energie ve všech měsících roku 2013 od uvedení do provozu, tj. od 6. února. Budeme-li předpokládat pro zjednodušení, že všechny měsíce mají třicet jedna dní a necháme plně zatížit motor na instalovaných 400 kW_e, zjistíme, že měsíčně lze vygenerovat 297,6 MWh elektrické energie, zaokrouhlíme na 300 MWh. Pokud tuto hodnotu zpětně ověříme ve stejném grafu, nejbližší této cifře se blíží měsíc říjen následovaný měsícem prosinec, což je příznivé. Důvod tohoto maximálního výkonu oproti jiným měsícům si popíšeme níže. Dále měsíce říjen a prosinec dominovaly podle grafu 5.2 i ve vyvedení elektřiny do distribuční sítě a podle grafu 5.4 byl elektrický výkon motoru MWM-Deutz využit z 97 % v říjnu a z 91 % v prosinci. Oba tyto vrcholy jsou také příčinou navýšení průměrné produkce na 225 MWh za rok z grafu 5.1. Naproti tomu odlišných výsledků se dosahovalo v počátcích provozu bioplynové stanice. Únor, tak vykazoval nižšího vyvedení elektrické energie, okolo 140 MWh a činnost zemědělského družstva byla kompenzována vyšším nákupem ze sítě podle grafu 5.2. Motor se v tomto měsíci podle grafu 5.4 využil z více jak 60 %.

Přehled vygenerované elektrické energie



Graf 5.1: Přehled výroby elektrické energie kogenerační jednotky MWM-Deutz v jednotlivých měsících za rok 2013

Toky elektrické energie v areálu zemědělského družstva



Graf 5.2: Zobrazení vyvedeného, spotřebovaného a nakoupeného množství elektrické energie zemědělských družstvem za rok 2013

Z dalších již zmíněných grafů, graf 5.2 výše, zobrazuje celkové trendy elektrické energie v areálu zemědělského družstva. K vidění je nejen průběh vyvedení elektrické energie (modrá čára) do distribuční sítě, ale také toky vlastní spotřeby technologické (žlutá) a konečné (zelená). Technologická spotřeba je spotřeba elektřiny pro výrobu elektrické energie a také pro kompenzování elektrických ztrát způsobené vedením. Konečnou spotřebu zahrnují osvětlení, elektrická zařízení a stroje v areálu družstva. Technologická a konečná spotřeba se pohybovala v průměru podle stejného grafu pod hranici 50 MWh za rok.

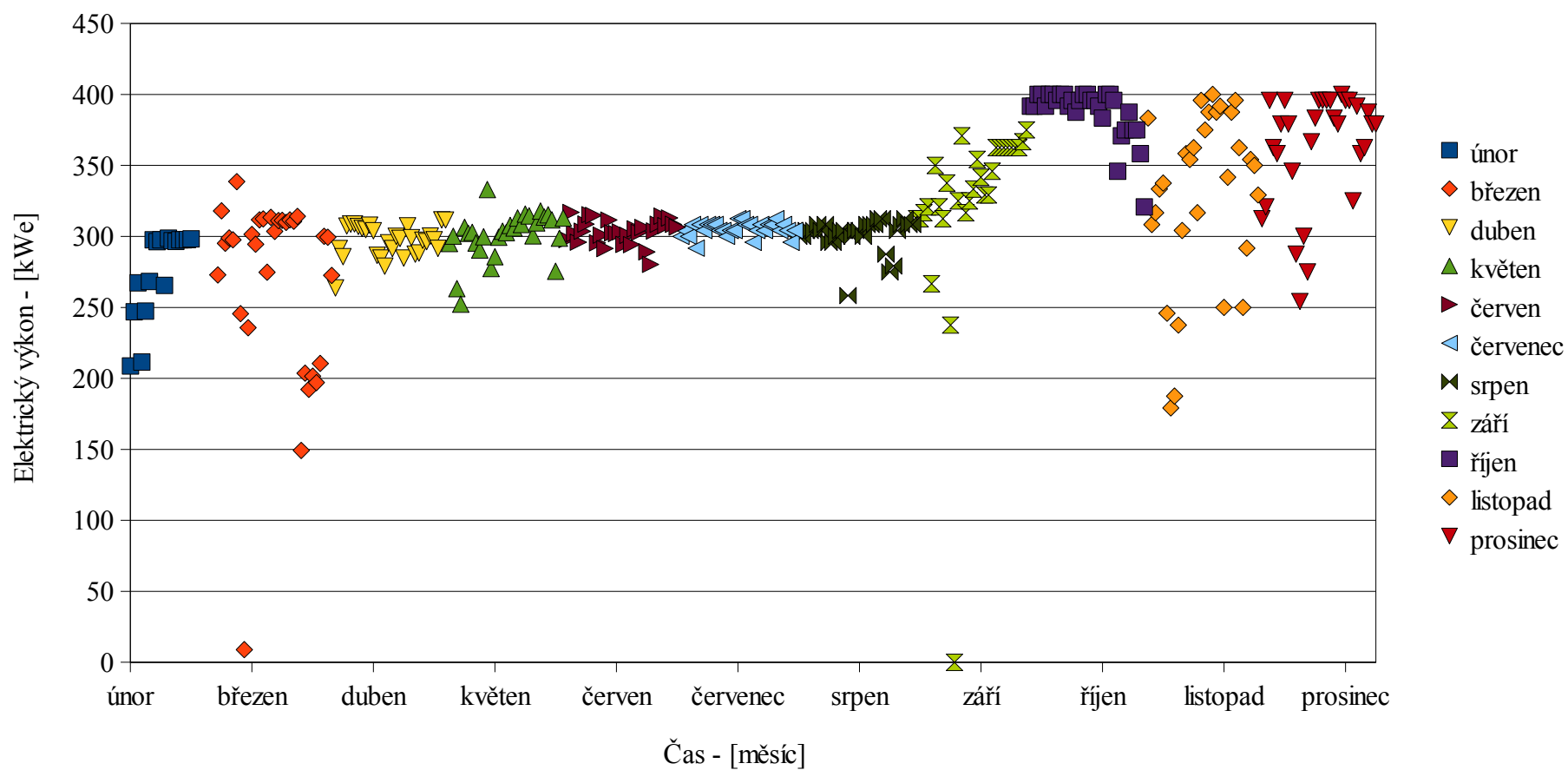
Samozřejmě také důležitou funkci zde plní nákup elektrické energie ze sítě (červená křivka), byť je jeho množství velmi malé oproti jiným tokům, ne však zanedbatelné. I tato křivka vypovídá mnohé o situacích během provozu motoru, proto nákup probíhal v situacích, kdy byla jednotka odstavena nebo nedokázala pokrývat vlastní spotřebu. V průměru za rok 2013 lze hovořit o 1,2 MWh.

Zvláštní pozornosti a popisem důvodu vykreslení všech grafů, které zobrazují stav elektrické energie, si uvedeme na grafu 5.3, která ukazuje činnost kogenerační jednotky s dosahovanými průměrnými denními výkony v jednotlivých měsících od uvedení v činnost (pro zopakování 6. února) až po konec roku 2013. Graf lze rozdělit s ohledem na vykreslené body na 4 oblasti („únorový nárůst s březnovými kmity“, „stabilizovaný provoz“, „záříjový nárůst s říjnovým maximem“ a „kmitavý provoz ke konci roku“).

První takovou znatelnou oblastí je počátek, tedy jeho pomalý „únorový nárůst“ až na výkon 300 kW_e. Tento stav je příčinou uvedení do provozu a jeho prvopočátečního provozování. Od dubna do srpna již činnost probíhala harmonicky. Maximální výkon však mohl být jen 300 kW_e, z důvodu přípojného bodu na distribuční síť. Kabele elektrického vedení přes transformátor byly dimenzovány právě na 300 kW_e. Jeho navýšení se uskutečnilo až v srpnu, a proto se výkon začal v září pomalu navyšovat až na konečných instalovaných 400 kW_e, což je patrné opět z grafu. Takto dokázal pracovat po téměř celý říjen, kde také následně klesl. Pokles způsobila krusta, která se vytvořila na hladině v dofermentoru. Ta bránila další tvorbě plynu a způsobila pokles výkonu motoru. Činnost stanice tak pracovala pouze s fermentační nádrží, jejíž produkce plynu nepokryje plný výkon motoru. Krustu se podařilo definitivně odstranit až po opakovaných pokusech ředění v okolí dofermentačních míchadel. Plnohodnotnému najezení na instalovaných 400 kW_e se uskutečnilo opět před Vánocemi.

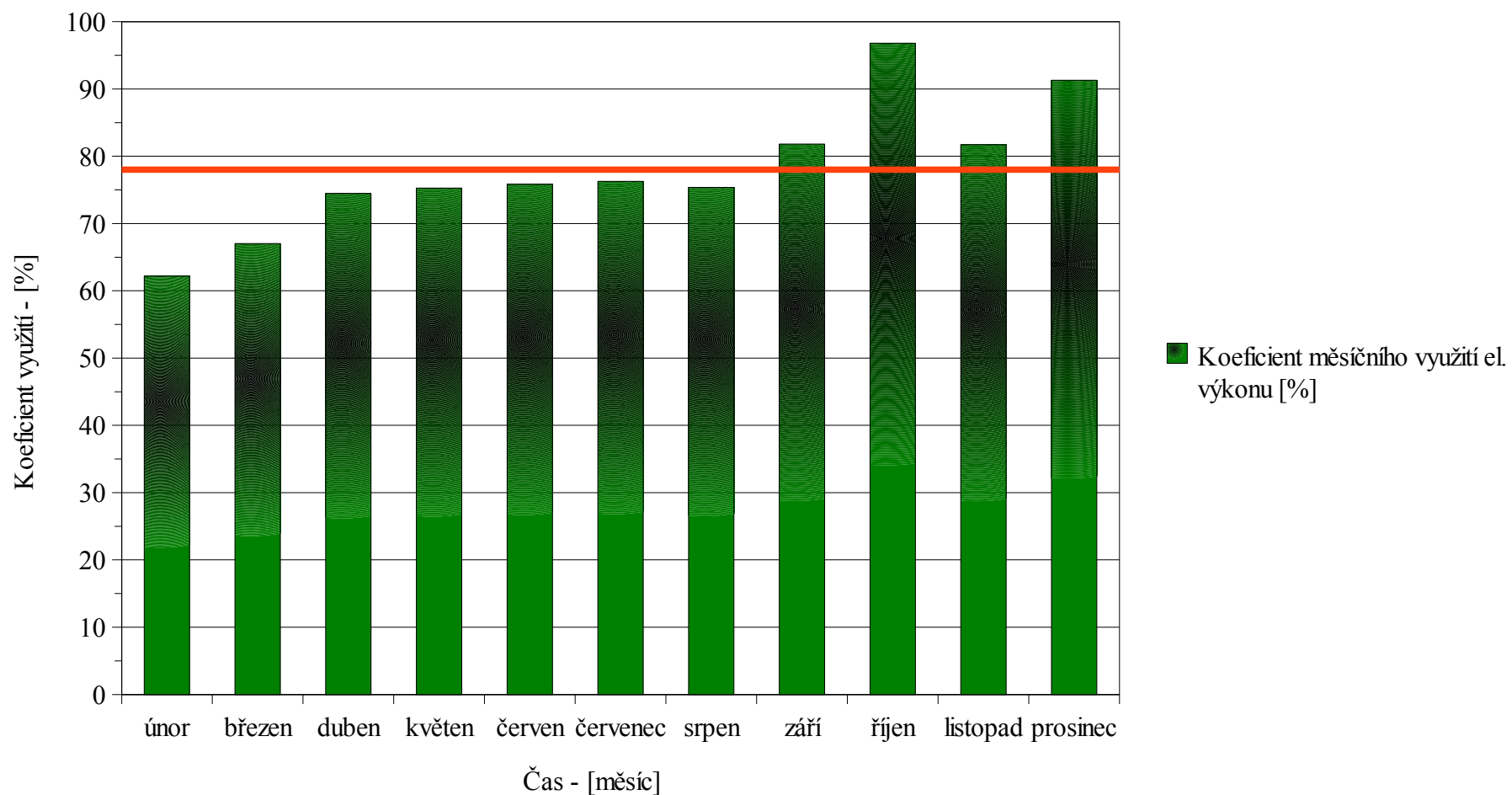
Průběh průměrných denních výkonů

Instalovaný výkon 400 kWe



Graf 5.3: Přehled průměrných denních elektrických výkonů kogenerační jednotky za rok 2013

Koeficient průměrného měsíčního využití elektrického výkonu



Graf 5.4: Grafické zobrazení průměrného koeficientu využití elektrického výkonu v jednotlivých měsících za rok 2013

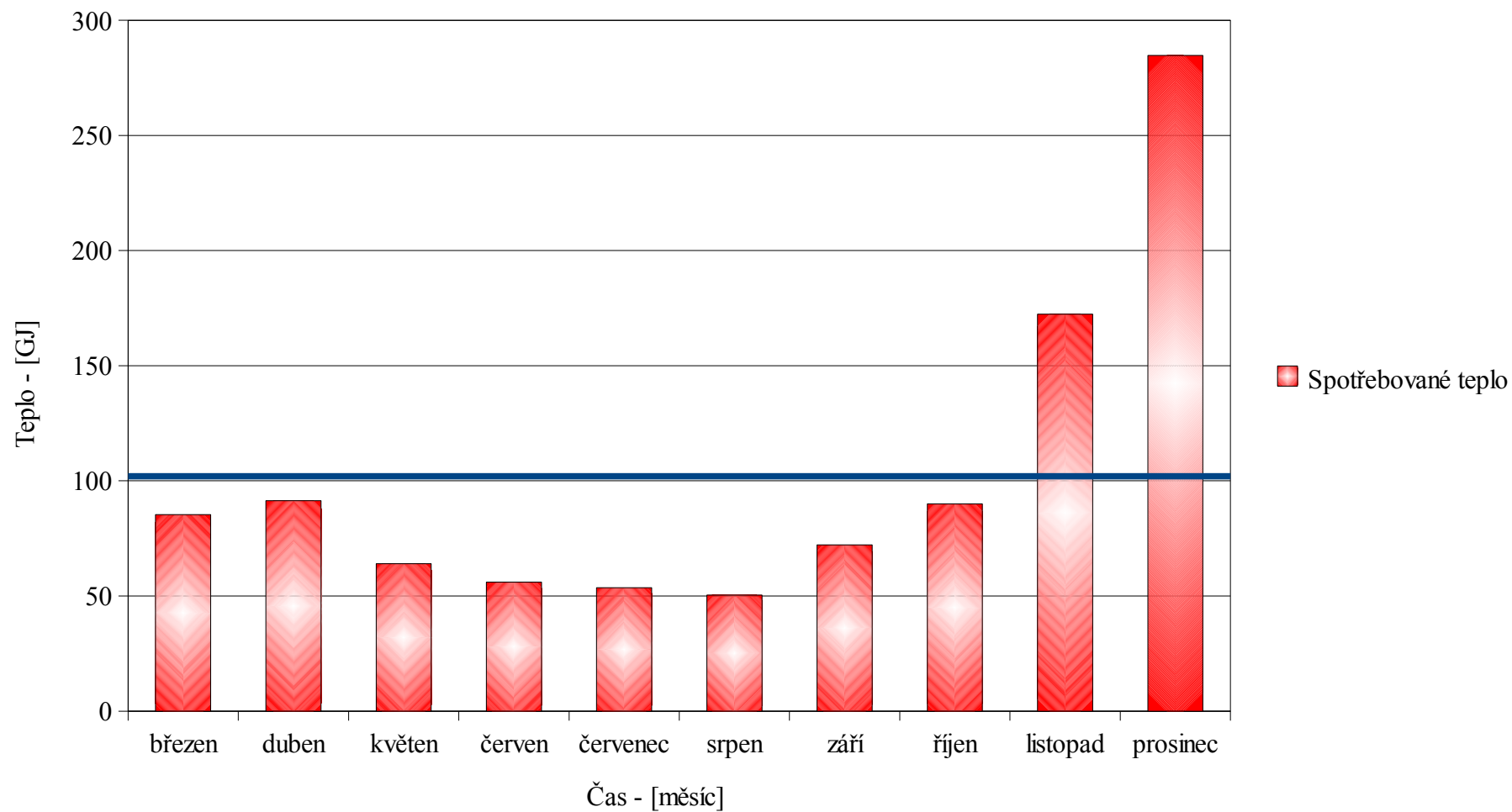
5.2 Současná situace spotřeby tepla

Teplo z kogenerační jednotky je z části spotřebováno jako technologické teplo pro ohřev vstupního materiálu do fermentoru, na udržování stálé teploty a krytí tepelných ztrát železobetonové konstrukce fermentoru a dofermentoru. Další část tepla je využívána v budově administrativy a v budově dojírny v areálu družstva, za účelem vytápění a přípravy teplé vody. Další možné využití tepla pro zemědělské družstvo je předmětem této diplomové práce v kapitole 6 Návrh možného využití přebytečného tepla z kogenerační jednotky na straně 38. K aktuálním výsledkům pro rok 2013 je situace znázorněna v grafech 5.5 a 5.6 oba níže.

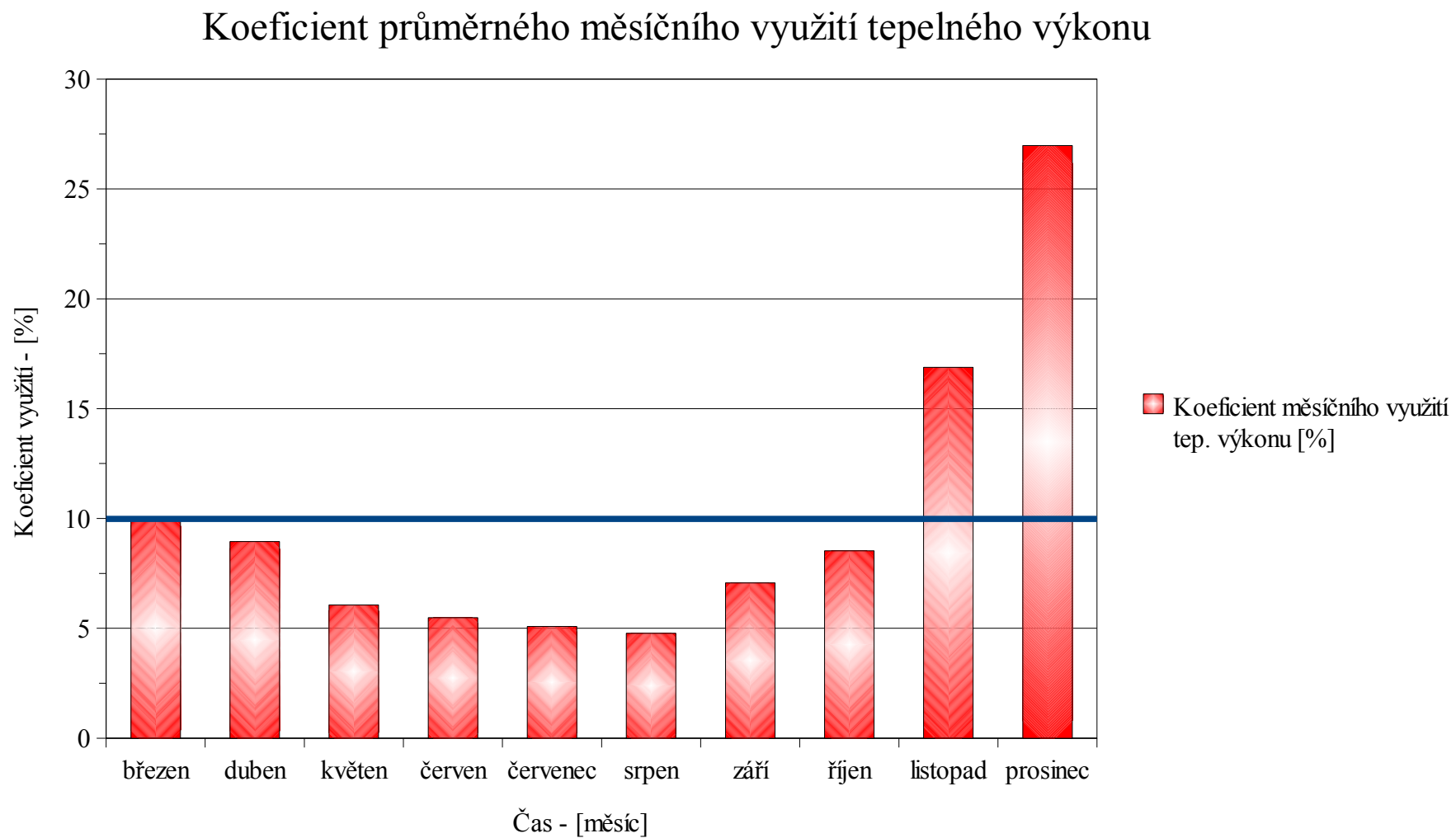
Z grafu 5.5 je patrný parabolický průběh spotřeby tepla. Tento fakt je typickým znakem spotřeby tepla pro vytápění v závislosti na venkovních teplotách. Největší část tepla z motoru se využilo v měsíci prosinec, s téměř 300 GJ, následovaný listopadem se 175 GJ spotřebovaného tepla. Nejmenší spotřeba byla v letních měsících okolo 50 GJ. Opět budeme-li předpokládat teoretickou produkci tepla za měsíc s jednatřiceti dny, dosáhneme měsíční produkce tepla v hodnotě 1 055 GJ při konstantním tepelném výkonu motoru 398 kW_t. Zpětným porovnáním do grafu 5.5 vidíme velké rezervy v nevyužitém teple, a proto je také tepelný výkon motoru využit ze 27 % (prosinec) a ze 17 % (listopad), jak ukazuje graf 5.6 níže. Naproti tomu letní období vykazuje větších přebytků tepla, a proto dosahuje hodnot kolem 5 %. Ročně se průměr využití srovná na 10 %, což je výsledný procentuální tepelný parametr bioplynové stanice. Je nutné podotknout, že celkových 10 % tepelného využití motoru je bez zimních měsíců leden a únor, kdy z těchto měsíců nejsou údaje. Pro rok 2014, tak může být výsledek i přes 15 %. Závěrem lze konstatovat, že i tak nízké využití tepla dokládají mnohé odborné články a publikace, zde např.: [17], [10] nebo [1]. Řada z nich také nabízí i přehled teoretických a skutečných aplikací využití odpadního tepla.

K teplu se hodí ještě jeden graf, který zobrazí možné výkonové rezervy při návrhu technických zařízení k využití přebytečného tepla. Ukázkou je proto graf 5.7 níže. Výsledkem tohoto grafu je zobrazení průměrného tepelného výkonu, který byl v daném měsíci potřebný k pokrytí spotřeby tepla. S ohledem na využití potenciálně možného odpadního tepla, je třeba počítat také s možnou tolerancí produkce tepla. Ta je výrobcem motoru MWM stanovena na $\pm 8\%$ [21]. V aplikaci, která bude předmětem využití nadbytku tepla, nebude tato tolerance začleněna pro budoucí ekonomické zhodnocení projektu, protože budu možnou aplikaci porovnávat s předešlým rokem 2013, ve kterém tato tolerance je již začleněna.

Průběh spotřeby tepla v areálu zemědělského družstva



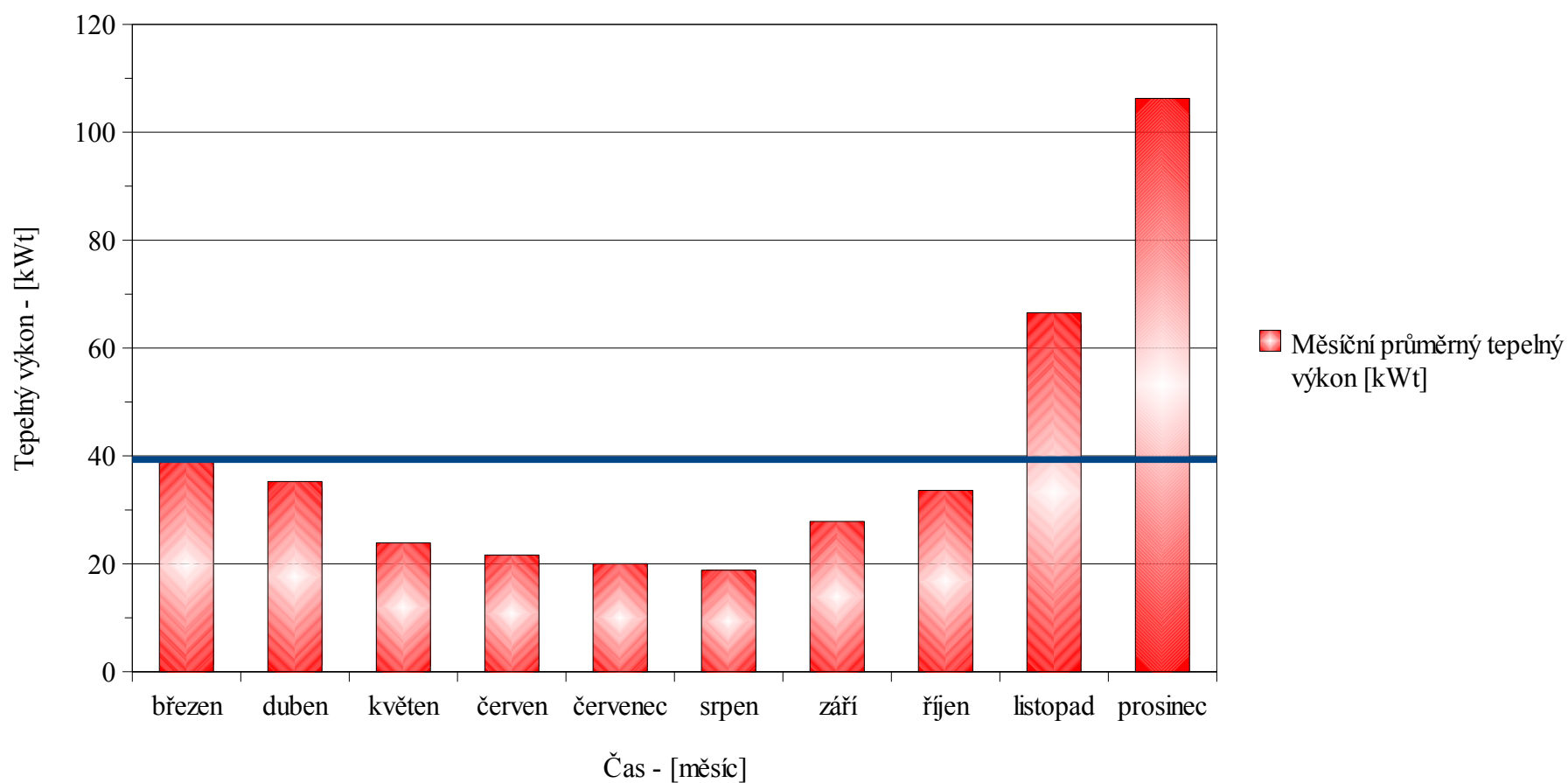
Graf 5.5: Měsíční situace spotřeby tepla areálem zemědělského družstva a bioplynovou stanicí za rok 2013



Graf 5.6: Grafické zobrazení průměrného koeficientu využití tepelného výkonu v jednotlivých měsících za rok 2013

Přehled průměrného měsíčního využitého tepelného výkonu

Maximální výkon 394 kWt



Graf 5.7: Průběh průměrného využitého tepelného výkonu kogenerační jednotky k potřebám pokrytí spotřeby tepla za rok 2013

5.3 Současná situace zpracované organické hmoty v bioplynové stanici

5.3.1 Množství a druhy zpracovaného zemědělského materiálu

Veškeré druhy vstupního materiálu jsou uvedeny v tabulce 5.2 níže. Z tabulky je vidět velké zastoupení kejdy, hnoje, travní senáže a kukuřice, které tvořily základní substráty k produkci bioplynu. S ohledem na chov dobytka, ovcí a koz tvořili dominantní část produkce plynu kejda a hnůj v součtu více jak 8,5 t. Zatímco travní senáž s kukuřicí v celkovém součtu kolem 2,7 t. Postupně se během měsíců přidávaly i další biologické hmoty. Je třeba také zmínit výpalky, které jsou zvláštní kategorií zpracování. Slouží především jako ředící tekutina kejdy s pozitivním obsahem plynotvorných látek. Výsledný zpracovaný digestát je skladován v koncové jímce s objemem 4 100 m³. S celkovým zpracovaným odpadem téměř 13 000 t, se roční produkce bioplynu vyšplhala přes 950 000 m³, více v tabulce 5.3 níže.

5.3.2 Přehled složení a výhřevnosti bioplynu

Stav průměrného chemického složení a průměrné výhřevnosti bioplynu, který je odvodněn a odsířen, je znázorněn v jednotlivých měsících v tabulce 5.1 níže. Výhřevnost jesenického bioplynu je za rok 2013 průměrně vyčíslena na 19 MJ s obsahem metanu 53 % objemových. Jelikož tvoří převážnou část zpracované hmoty hovězí kejda, lze výhřevnost porovnat s literaturou [9], která jej hodnotí v rozmezí 19,6 ÷ 22,0 MJ. Z projekčního hlediska splňuje energetická hodnota bioplynu obvyklé provozní pásmo bioplynových stanic, ve kterém pracují. Pro ujasnění je to v rozmezí výhřevnosti 17,9 ÷ 25,6 MJ v objemu bioplynu s obsahem metanu 50 ÷ 70 % objemových [12]. Dlouhodobý provoz mimo toto rozpětí nemusí být ekonomicky přijatelné. Určité literatury se mohou v obsahu metanu a výhřevnosti od sebe různě lišit a to jak v německé literatuře [1], tak v české literatuře, zde například [15] nebo [8].

Složení metanu, sírovodíku a kyslíku v bioplynu je ve velině monitorováno a zaznamenáváno analyzátozem bioplynu typu SSM 6000 firmy Pronova. Zbylý oxid uhličitý je přepočten do výsledných 100 % objemových. Minoritní plyny jiné než uvedený sírovodík do přepočtu nezahrnuji.

Podíváme-li se do níže uvedené tabulky na průměrné měsíční složení sírovodíku po odsíření, zjistíme jeho proměnlivé složení oproti složení třeba metanu. Tuto

proměnlivost také dokládá literatura [12], kde živočišné odpady z chovu skotu stanovuje na $50 \div 600$ mg sulfanu v objemu bioplynu. V případě jesenického sulfanu se po vynásobení hustotou sulfanu $1,539 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [20], dostaneme na roční rozpětí $75 \div 966$ mg sírovodíku v objemu bioplynu, což lze předpokládat za určitou shodu s výše zmíněnou literaturou [12].

Průměrné měsíční chemické složení a výhřevnost bioplynu					
	CH ₄	H ₂ S	O ₂	CO ₂	Q _{bioplyn}
	[% _{obj.}]	[ppm]	[% _{obj.}]	[% _{obj.}]	[kJ · m ⁻³]
leden	X	X	X	X	X
únor	49,79	628,73	0,29	49,85	17 866
březen	53,75	443,68	0,33	45,88	19 280
duben	53,09	452,30	0,35	46,51	19 043
květen	53,22	299,03	0,28	46,48	19 085
červen	53,57	158,73	0,24	46,17	19 209
červenec	53,84	78,16	0,15	46,01	19 303
srpen	54,05	176,35	0,15	45,78	19 382
září	54,02	51,00	0,19	45,78	19 369
říjen	54,03	70,32	0,13	45,83	19 371
listopad	51,66	357,23	0,23	48,08	18 527
prosinec	52,67	445,48	0,21	47,08	18 892
Průměr	53,06	287,37	0,23	46,68	19 030

Tabulka 5.1: Chemické složení a výhřevnost jesenického bioplynu za rok 2013

Poznámka:

Výhřevnost bioplynu je v normálních podmínkách. Použitá výhřevnost metanu za normálních podmínek (tj. 0 °C a 101,325 kPa) $35\,850 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$ a výhřevnost sírovodíku za normálních podmínek $23\,697 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3}$ [20].

Biologická hmota zpracována v bioplynové stanici Jeseník												
	Kukuřice	Hnůj	Travní senáž	Hrách	GPS	Mláto	Cukr. řízky	Tráva	Tritikále	Kejda	Celkem	Výpalky
	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[m³]
leden	15	18	0	X	0	X	0	X	X	0,0	33,0	X
únor	72	297	79	X	82	X	28	X	X	0,0	558,0	X
březen	64	351	50	X	82	X	8	X	X	0,0	555,0	X
duben	57	337	223	X	46	X	8	X	X	430,5	1 101,5	X
květen	61	348	171	X	88	X	0	22	1	405,1	1 096,1	X
červen	69	300	115	X	60	X	0	48	0	417,7	1 009,7	X
červenec	29	281	111	X	71	X	0	50	0	431,8	973,8	X
srpen	12	257	230	X	19	X	0	64	0	725,6	1 307,6	X
září	9	197	299	70	0	36	0	57	25	815,4	1 508,4	X
říjen	25	224	366	43	0	21	0	20	31	731,8	1 461,8	X
listopad	44	220	297	58	0	10	128	0	27	829,0	1 613,0	5
prosinec	94	246	226	62	0	0	187	0	31	769,0	1 615,0	74
Celkem	551	3 076	2 167	233	448	67	359	261	115	5 555,9	12 832,9	79

Tabulka 5.2: Roční přehled vstupní organické hmoty ke zpracování v bioplynové stanici včetně výpalků

Poznámka:

X – znamená, že vedlejší produkt se v daném měsíci nezačal aplikovat.

0 – znamená nedostatek vedlejšího produktu v daném měsíci.

5.4 Souhrn analýzy

K závěrečnému vyhodnocení analýzy bioplynové stanice Jeseník jsou znázorněny v tabulce 5.3 níže, hlavní dosažené parametry.

Zhodnocení bioplynové stanice Jeseník			
(6.2.2013 ÷ 31.12.2013)			
Elektrická energie	Vygenerovaná elektrická energie	2 476	[MWh]
	Průměrný elektrický výkon	312	[kW _e]
	Průměrný koeficient využití elektrického výkonu	78,00	[%]
Teplo	Spotřebované teplo*	1 020	[GJ]
	Průměrný tepelný výkon	39	[kW _t]
	Průměrný koeficient využití tepelného výkonu	9,98	[%]
Organické odpady a bioplyn	Zpracováno organického materiálu	12 832,9	[t]
	Spotřebované množství bioplynu**	954 973	[m ³]
	Průměrná výhřevnost bioplynu	19 030	[kJ · m ⁻³]

Tabulka 5.3: Hlavní dosažené hodnoty bioplynové stanice Jeseník za rok 2013

Poznámka:

Množství a výhřevnost bioplynu jsou za normálních podmínek.

*Kolonka „Spotřebované teplo“ je bez údajů z měsíce únor.

**Kolonka „Spotřebované množství bioplynu“ je bez údajů z měsíců listopad a prosinec.

6 Návrh možného využití přebytečného tepla z kogenerační jednotky

Výčet využití odpadního tepla u bioplynových stanicích (a nejen u BPS) je v odborných literaturách rozsáhlé množství (obecně např. [4]). Nejedná publikace se ji věnuje do detailního provedení a nabízí tak kompletní přehled od výpočetní části až k ekonomickému zhodnocení. Aby se projekt využití tepla mohl uskutečnit, je třeba znát základní podmínky realizace. Mezi omezení, které znemožňují efektivně využít odpadní teplo jsou:

- technické možnosti (zařízení nebo stroj, které dokáže využít odpadní teplo)
- ekonomické podmínky (zisk, investice, provozní náklady, ...)
- ochrana životního prostředí (minimální vliv na člověka a přírodu)
- společenská bariéra (nezájem lidí, místní odpor, neinformovanost, ...)
- kvalita a kvantita tepla (teplota a jeho množství)

Když se podaří splnit podmínky k realizaci, je ve dvou bodech využito, buď k dodatečné výrobě elektrické energie, nebo k využití tepla jako takového (sušení, větrání, ...).

K realizaci dodatečného využití odpadního tepla jsem vybral dva projekty, které jsou uvedeny níže, jako podklad ke koncepčnímu řešení.

6.1 Návrh zařízení pro sušení řeziva

Pro návrh sušicího zařízení volím nejčastěji používaný druh měkkého dřeva smrk, pro truhlářské aplikace. Za zástupce nejčastěji používaného tvrdého dřeva volím buk. Výpočet provádím pro názornost pro smrkové řezivo s vlhkostí dřeva 50 %_{obj.} na požadovanou vlhkost 8 %_{obj.} o síle (tloušťce) 60 mm v letním období. Pro kompletní výsledky spotřeby tepla a elektrické energie k celoročnímu sušení (letní období + zimní období) smrku a buku uvádím v tabulce 6.2 a navýšení využitelného tepla v podobě koeficientu využití tepelného výkonu motoru v grafu 6.2 oba níže.

6.1.1 Technická část sušení řeziva

Výpočet minimálního průměrného tepelného výkonu pro sušení:

$$\dot{Q}_{\min.} = \dot{Q}_{\text{motor}} - \dot{Q}_{\text{prům.}} = 394 - 39 = \underline{355 \text{ kW}_t} \quad (6.1)$$

kde:

\dot{Q}_{motor} ... instalovaný tepelný výkon motoru (podle výrobce MWM [21]) [kW]

$\dot{Q}_{\text{prům.}}$... průměrný využitý tepelný výkon motoru z tabulky 5.3 [kW]

Pro činnost sušení řeziva s optimálním využitím odpadního tepla z bioplynové stanice, volím tři sušicí komory s označením 2 x KAD 1x4 K (s tepelným příkonem 2 x 163 kW_t) a 1 x KAD 1x5 K (s tepelným příkonem 1 x 179 kW_t), firmy Katres spol. s r.o. Nastavená celoroční optimální činnost tří sušicích komor je zobrazena v grafu 6.1 níže. I když je v grafu 6.1 níže vykreslená modrá křivka, která přesahuje minimální výkon (červená křivka), který může být využit k procesu sušení, rozhodně se tím nezastaví činnost třetí sušárny, jenom se prodlouží doba potřebná k jejímu ohřevu.

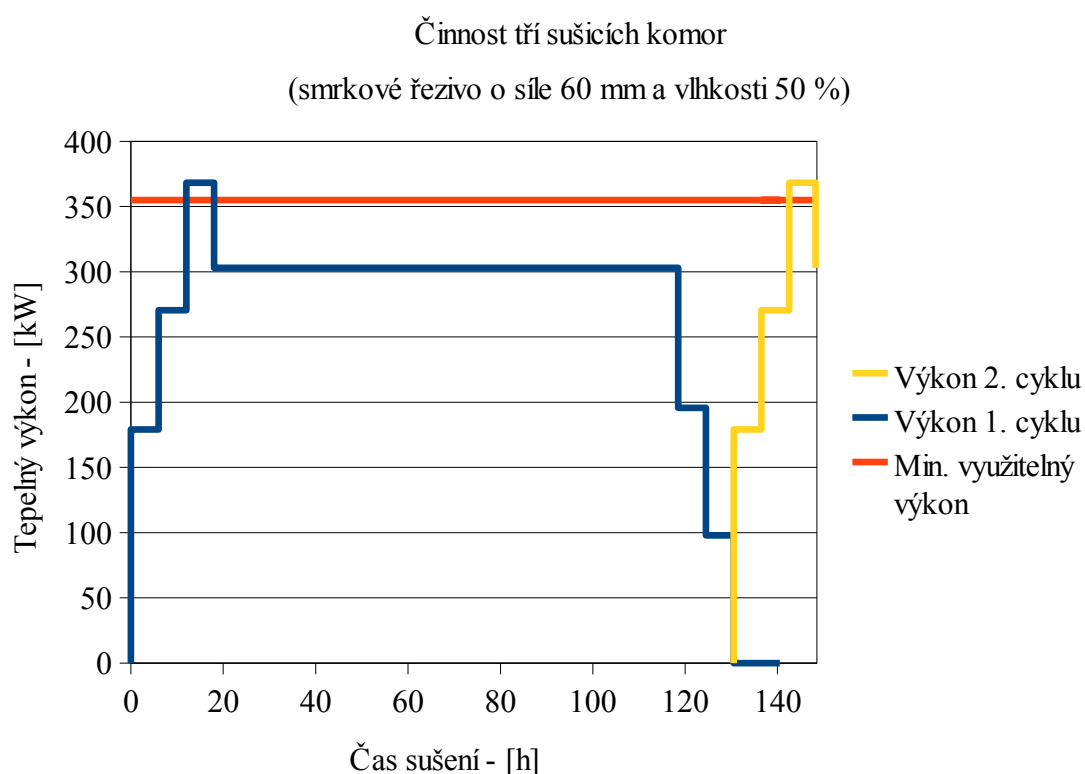
Výpočet množství přebytečného tepla během letního sušicího cyklu:

$$Q_{\text{teor.}} = \dot{Q}_{\min.} \cdot \tau_{\text{sušení}} = 355 \cdot 130,5 = \underline{46327,5 \text{ kWh}} \quad (6.2)$$

kde:

$\dot{Q}_{\min.}$... minimální průměrný celoroční tepelný výkon pro sušení [kW]

$\tau_{\text{sušení}}$... doba sušicího cyklu v letním období (podle ON 49 0651) [h]



Graf 6.1: Optimální nastavení sušicího cyklu pro všechny druhy řeziva v letním období

Poznámka:

Stejný tvar sušicího cyklu má i jakékoliv jiné řezivo, mění se pouze čas potřebný k jeho sušení v letním nebo v zimním období (podle ON 49 0651).

Letním nebo zimním obdobím je myšlena doba, kdy jsou okolní podmínky takové, které určují krátký nebo delší časový interval ohřevu komory na požadované parametry (podle ON 49 0651).

Přepočet množství přebytečného tepla během jednoho sušicího cyklu v letním období:

$$Q'_{\text{teor.}} = Q_{\text{teor.}} \cdot 3600 = 46\,327,5 \cdot 3600 \cdot 10^{-6} = 167 \text{ GJ} \quad (6.3)$$

kde:

$Q_{\text{teor.}}$... množství přebytečného tepla vypočítaný z rovnice 6.2 [kWh]

Výpočet množství tepla spotřebovaného během jednoho letního sušicího cyklu:

$$Q_{\text{sušení}} = \sum \dot{Q}_n \cdot \tau_n \quad (6.4)$$

$$Q_{\text{sušení}} = 179 \cdot 6 + 270,4 \cdot 6 + 368,2 \cdot 6 + 303 \cdot 100,5 + 195,6 \cdot 6 + 97,8 \cdot 6 = 37117,5 \text{ kWh}$$

kde:

\dot{Q}_n ... tepelný výkon v čase „n“, více graf 6.1 (plocha pod křivkou) [kW]

τ_n ... doba, kdy se v čase „n“ mění tepelný výkon sušení, více graf 6.1 [h]

Přepočet množství tepla spotřebovaného během jednoho letního sušicího cyklu:

$$Q'_{\text{sušení}} = Q_{\text{sušení}} \cdot 3600 = 37117,5 \cdot 3600 \cdot 10^{-6} = 134 \text{ GJ} \quad (6.5)$$

kde:

$Q'_{\text{sušení}}$... množství sušicího tepla vypočítaný z rovnice 6.4 [kWh]

Podle grafu 6.2 níže je zřejmé, že nejlépe se k sušení hodí tvrdé dřevo s nutností dlouhodobého sušení. Tím se pokryje velká část tepla, která by musela být mařena v chladičích a zkrátí se časté intervaly nutné pro výměnu vysušeného řeziva za vlhké řezivo, jako v případě smrku a obecně měkkých dřevin s krátkodobým sušením. Dlouhodobé sušení tvrdého dřeva naproti tomu vede k menšímu vysušenému objemu, více pro přehled v tabulce 6.1 níže, proto by tyto dřeviny měly být finančně více zhodnoceny. Jelikož je velice nepravděpodobné, že by se sušil zvolený jeden druh řeziva o celoroční stejné vlhkosti jako v grafu 6.2, i kombinací více druhů dřeva, kde alespoň jedna sušicí komora bude naplněna tvrdým dřevem, bude mít pozitivní vliv na hodnotném celoročním využití přebytečného tepla.

Měsíc	Počet dní	Smrk	Buk
	[d]	[m ³]	[m ³]
březen	25	380	132
duben	30	417	248
květen	31	533	190
červen	30	570	285
červenec	31	570	190
srpen	31	512	285
září	30	533	190
říjen	31	570	285
listopad	30	475	190
prosinec	31	475	285
Celkem		5 035	2 280

Tabulka 6.1: Přehled množství usušeného druhu řeziva za rok 2013

Bukové řezivo		Sušicí komora KAD 1x4 K		Sušicí komora KAD 1x4 K		Sušicí komora KAD 1x5 K	
Měsíc	Počet dní	Sušicí teplo	Spotřebovaná elektrická energie	Sušicí teplo	Spotřebovaná elektrická energie	Sušicí teplo	Spotřebovaná elektrická energie
	[d]	[GJ]	[kWh]	[GJ]	[kWh]	[GJ]	[kWh]
březen	25	204,2	4 968	200,0	4 860	226,2	6 768
duben	30	242,6	5 985	242,6	5 985	269,1	7 980
květen	31	254,2	6 480	256,3	6 534	276,8	8 568
červen	30	245,0	6 156	245,0	6 156	245,5	8 208
červenec	31	256,3	6 480	256,3	6 480	281,5	8 640
srpen	31	253,5	6 372	253,5	6 372	278,4	8 496
září	30	247,9	6 264	247,9	6 264	272,2	8 352
říjen	31	253,5	6 216	253,5	6 372	278,4	8 496
listopad	30	238,0	5 886	235,9	5 832	263,7	7 920
prosinec	31	245,0	6 048	245,1	6 048	269,1	8 064
Celkem		2 440	60 855	2 436	60 903	2 661	81 492

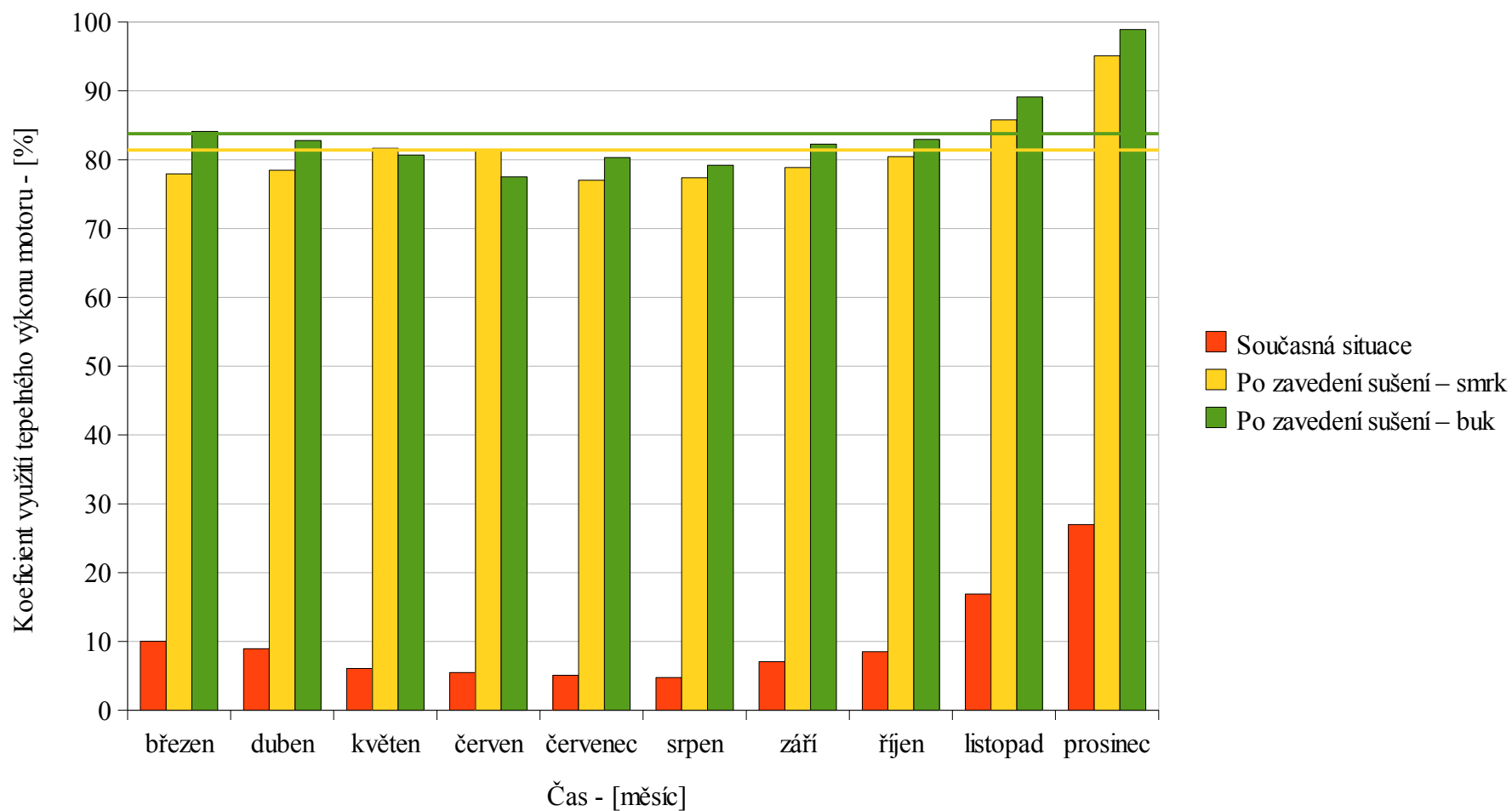
Smrkové řezivo		Sušicí komora KAD 1x4 K		Sušicí komora KAD 1x4 K		Sušicí komora KAD 1x5 K	
Měsíc	Počet dní	Sušicí teplo	Spotřebovaná elektrická energie	Sušicí teplo	Spotřebovaná elektrická energie	Sušicí teplo	Spotřebovaná elektrická energie
	[d]	[GJ]	[kWh]	[GJ]	[kWh]	[GJ]	[kWh]
březen	25	186,6	4 482	186,6	4 482	204,9	5 976
duben	30	229,0	5 495	224,8	5 387	256,1	7 470
květen	31	251,4	6 156	253,5	6 210	293,1	8 496
červen	30	250,3	6 183	250,3	6 183	274,9	8 244
červenec	31	245,0	6 048	245,0	6 048	269,1	8 064
srpen	31	247,3	6 143	247,3	6 143	271,6	8 190
září	30	236,6	5 832	236,6	5 832	259,8	7 776
říjen	31	245,0	6 048	244,7	6 062	269,1	8 064
listopad	30	224,6	5 508	227,1	5 549	252,1	7 272
prosinec	31	233,3	5 603	233,3	5 603	252,3	7 470
Celkem		2 349	57 497	2 349	57 497	2 603	77 022

Tabulka 6.2: Přehled potřebného tepla pro sušení smrku a buku ve třech komorách včetně spotřeby elektrické energie ventilátory za rok 2013

Poznámka:

V měsíci prosinec lze předpokládat, že jedna sušicí komora bude mimo provoz, protože pro ni nebude dostatek tepla. Více také graf 6.2 níže.

Navýšení koeficientu využití tepelného výkonu vlivem sušení řeziva



Graf 6.2: Zobrazení koeficientu využití tepelného výkonu motoru v současné situaci za rok 2013 a po možném zavedení sušení

Obdobná metoda návrhu komorového sušení se dá aplikovat také pro sušení bylin, hub nebo digestátů. U sušení bylin a hub je výhodné využít nízkopotenciálního tepla např. z chlazení směsi motoru.

6.1.2 Ekonomické zhodnocení projektu sušení dřeva

Pro ekonomický přínos ze sušení řeziva o libovolných tloušťkách stanovují prodejní cenu smrku $5\,000 \text{ Kč} \cdot \text{m}^{-3}$ a pro buk cenu $7\,500 \text{ Kč} \cdot \text{m}^{-3}$ (běžné prodejní ceny na českém trhu).

Vstupní investice činí:

Položka	Dodavatel (typ)	Cena (bez DPH)
		[Kč]
Sušicí komora	Katres s.r.o. (1 KAD 4)	933 500
(včetně montáže)	Katres s.r.o. (1 KAD 4)	933 500
	Katres s.r.o. (1 KAD 5)	956 500
Doprava + vyložení	Doprava Vrabcová (2x vozy Scania)	19 110
3x Oběhová čerpadla	Sigma pumpy Hranice s.r.o.	38 105
3x Potrubní rozvod (odhad 200 m)	Kondor s.r.o. Hutní materiály	76 200
3x Izolace potrubí (odhad 200 m)	Spur a.s. (TUBEX)	70 800
Vysokozdvíhový vozík	GEKKON International s.r.o. (Heli VD45)	597 450
Betonový základ	Betonárka Mukařov s.r.o.	102 750
Neuvedené položky		500 000
Celkem (bez DPH)		4 227 915
Celkem (s DPH)		5 115 777

Tabulka 6.3: Přehled hlavních nákladů na realizaci sušení řeziva

Výpočet ročního výnosu při sušení smrku:

$$V_{\text{smrk}} = C_{\text{smrk}} \cdot \dot{m}_{\text{smrk}} = 5000 \cdot 5035 = \underline{25\,175\,000 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}} \quad (6.6)$$

kde:

C_{smrk} ... možná orientační cena smrkového řeziva [$\text{Kč} \cdot \text{m}^{-3}$]

\dot{m}_{smrk} ... množství usušeného smrkového řeziva z tabulky 6.1 [$\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$]

Výpočet ročního hrubého zisku:

$$HZ_{\text{smrk}} = V_{\text{smrk}} - N = 25\,175\,000 - 150\,000 = \underline{25\,025\,000 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}} \quad (6.7)$$

kde:

N ... roční odhadované provozní náklady (palivo pro vysokozdvizný vozík, údržba, pracovní síla, voda) [$\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$]

V_{smrk} ... roční výnos ze sušení smrku vypočítaný z rovnice 6.6 [$\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$]

Výpočet ročního čistého zisku:

$$\check{Z}_{\text{smrk}} = HZ_{\text{smrk}} - HZ_{\text{smrk}} \cdot \frac{SD}{100} = 25\,025\,000 - 25\,025\,000 \cdot \frac{15}{100} \quad (6.8)$$

kde:

HZ_{smrk} ... roční hrubý zisk vypočítaný z rovnice 6.7 [$\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$]

SD ... sazba daně [%]

Výpočet doby návratnosti při aplikaci sušení smrkového řeziva:

$$\tau_{\text{smrk}} = \frac{I}{\check{Z}_{\text{smrk}}} = \frac{5\,115\,777}{21\,271\,250} = 0,2 \text{ rok} \approx 3 \text{ měsíc} \quad (6.9)$$

kde:

\check{Z}_{smrk} ... roční čistý zisk při sušení smrkového řeziva vypočítaný z rovnice 6.8 [$\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$]

I ... investice spojené s nákupem, dodávkou a instalací sušicích komor z tabulky 6.3 [Kč]

V případě sušení pouze bukového řeziva činí čistý zisk přes 14,4 mil. Kč s dobou návratností přes čtyři měsíce.

6.1.3 Závěrečné zhodnocení využití odpadního tepla k sušení řeziva

I když jsou orientační výsledky z pohledu možného zisku vynikající, kterou navíc pozitivně přijímá i literatura [14] nebo [11] a celoroční koeficient využití tepelného výkonu motoru se zvýší z 10 % až na 85 %, je nutné závěrem zdůraznit, že potřebné řezivo o celoročních objemech cca $2\,000 \div 5\,000 \text{ m}^3$, podle tabulky 6.1 výše, bude třeba do sušicích komor trvale dodávat, chceme-li dosáhnout pozitivních výsledků při využití odpadního tepla, a navíc i jako vysušené řezivo přechodně skladovat. Nabízí se možnosti jako přemístění pily do areálu zemědělského družstva nebo doprava zpracovaného, ale nevysušeného řeziva. Otázkou je, je-li to realizovatelné, popřípadě jaká bude taková cena za přemístění pily nebo dopravu řeziva.

V případě přestěhování pily do areálu družstva se s ní přesune i odpad vznikající při zpracování dřeva. Snahou pil je se tohoto odpadu zbavit a energeticky jej využít. Zde se nabízí již alternativa, vyrábět dřevní peletky k pokrytí sušení řeziva a jiných dřevních polotovarů, které bioplynová stanice nedokáže již s odpadním teplem pokrýt a nadbytek prodávat např. velkým teplárnám, podaří-li se jim získat odbyt. Projekt však může narazit na společenskou bariéru s nesouhlasem výstavby pily nebo dopravy, vlivem možného zvýšení hluku a emisí výfukových plynů, i když může třeba v oblasti zajistit i práci.

Druhý případ nabízí silniční dopravu řeziva kamiony s objemem návěsu 140 m³. Pro zajištění řeziva do sušicích komor a jeho trvalý provoz bude vyžadovat měsíčně 3 ÷ 4 návěsy. Tato aplikace vyžaduje také vybudovat uzavřené přechodové skladiště nebo vymezený prostor pro poskládané dřevní hráně, dostupné i v zimním období.

Dalším negativem jak při přesunu pily, tak silniční dopravou, může být možný vliv nového prostředí na chovaná zvířata, již zmíněným hlukem nebo emisemi výfukových plynů, proto je nutné počítat také s investicí na protipatření, alespoň u hluku.

Souhrnem toho dodávám, že náročné sušení řeziva je velice pozitivní pro zhodnocení provozu bioplynové stanice, kde v prvním pár letech se vrací náklady za nákup sušáren, ale po splacení se již snižuje návratnost samotné bioplynové stanice. Zde se ukazuje rozumný potenciál sušení, obzvláště při náročném a celoročním sušení.

6.2 Návrh teplovodu pro vytápění a přípravu teplé vody

Tato podkapitola má za cíl určit do jaké vzdálenosti je možné dodat přebytečné teplo z BPS tak, aby koncový uživatel měl na výtoku teplotu v rozmezí 65 ÷ 45 °C podle vyhlášky č. 194/2007 Sb., aniž by teplota neklesla pod tento teplotní interval, v nejhorším případě neklesl pod teplotu 45 °C.

Volím proto návrh teplovodu s tepelnými spády 90/70 °C. Návrh bude proveden pro měsíc prosinec, který podle grafu 5.7 na straně 34 vykazoval největší dodávku tepla pro areál zemědělského družstva včetně fermentorů bioplynové stanice, tak aby tato spotřeba tepla nebyla teplovodem narušena. Teplovod bude vycházet z primární výměňkové stanice v bezkanálovém podzemním vedením. Předpokládám, že odpadní tepelný výkon kogenerační jednotky pro koncového uživatele, za měsíc prosinec bude z 90 % tvořen na vytápění a z 10 % tvořen pro přípravu teplé vody.

6.2.1 Technická část návrhu teplovodu

Výpočet možného tepelného příkonu z bioplynové stanice pro CZT:

$$\dot{Q}_{\text{příkon}} = \dot{Q}_{\text{motor}} - \dot{Q}_{\text{max.}} = 354 - 127 = \underline{227 \text{ kW}} \quad (6.10)$$

kde:

\dot{Q}_{motor} ... tepelný výkon motoru (podle výrobce MWM [21]) [kW]

$\dot{Q}_{\text{max.}}$... maximální průměrný denní odběr tepla ZD v měsíci prosinec [kW]

Výpočet možného tepelného výkonu z bioplynové stanice pro CZT:

$$\dot{Q}_{\text{výkon}} = \dot{Q}_{\text{příkon}} \cdot \eta_{\text{výměník}} = 227 \cdot 0,95 = \underline{216 \text{ kW}} \quad (6.11)$$

kde:

$\dot{Q}_{\text{příkon}}$... tepelný příkon výměníku vypočítaný z rovnice 6.10 [kW]

$\eta_{\text{výměník}}$... orientačně zvolená účinnost výměníku pro CZT [1]

Poznámka:

Teplem lze orientačně zásobovat čtrnáct rodinných domů s tepelnou ztrátou 15 kW.

Výpočet záložního tepelného příkonu z bioplynové stanice pro nejstudenější měsíc:

$$\dot{Q}_{\text{příkon, leden}} = \dot{Q}_{\text{příkon}} \cdot \frac{t_{\text{is}} - t_{\text{es}}}{t_{\text{is}} - t_{\text{e}}} = 227 \cdot \frac{20 + 4,2}{20 + 18} = \underline{145 \text{ kW}} \quad (6.12)$$

kde:

t_{e} ... nejnižší venkovní teplota dané oblasti (literatura [7]) [°C]

t_{es} ... střední teplota venkovního prostoru v měsíci leden (literatura [7]) [°C]

t_{is} ... střední teplota vnitřního prostoru [°C]

$\dot{Q}_{\text{příkon}}$... tepelný příkon výměníku vypočítaný z rovnice 6.10 [kW]

Výpočet množství oběhové vody za primárním výměníkem:

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\dot{Q}_{\text{výkon}}}{i_{90} - i_{70}} = \frac{216}{377,5 - 293,6} = \underline{2,57 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (6.13)$$

kde:

$\dot{Q}_{\text{výkon}}$... tepelný výkon výměníku vypočítaný z rovnice 6.11 [kW]

i_{90} ... entalpie teplé vody s teplotou 90 °C (určena programem EES) [kJ · kg⁻¹]

i_{70} ... entalpie teplé vody s teplotou 70 °C (určena programem EES) [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Výpočet vnitřního průměru teplovodu:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{90} \cdot \pi \cdot w_{\text{H}_2\text{O}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,57}{965,7 \cdot \pi \cdot 1}} = \underline{0,058 \text{ m}} \quad (6.14)$$

kde:

$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$... množství oběhové vody vypočítaný z rovnice 6.13 [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

ρ_{90} ... hustota vody topné větve při teplotě 90 °C (určeno z EES) [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$w_{\text{H}_2\text{O}}$... projektovaná rychlost vody ve větvích [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Volím jmenovitou světlost potrubí DN 65 podle ČSN EN ISO 6708. Navrhované potrubí TR KR 76,1 x 2,9 – ČSN 42 5715 – 11 353.1 na jmenovitý tlak potrubí PN 10/I.

Výpočet dovoleného napětí potrubí v tahu:

$$\sigma_{D,t} = \frac{R_e}{k} \cdot c_{II} = \frac{235}{2} \cdot 0,85 = \underline{100 \text{ MPa}} \quad (6.15)$$

kde:

R_e ... mez kluzu materiálu do tloušťky 12 mm (více příloha č. 4) [MPa]

k ... zvolený součinitel bezpečnosti materiálu (literatura [18]) [1]

c_{II} ... zvolené zatížení potrubí (literatura [18]) [1]

Kontrola tloušťky nově navrženého potrubí DN 65:

$$t = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{D,t} \cdot v_s} + c_1 + c_2 = \frac{0,8 \cdot 76,1}{2 \cdot 100 \cdot 1} + 1 + 1 = \underline{2,3 \text{ mm} \leq 2,9 \text{ mm}} \quad (6.16)$$

kde:

p ... orientačně zvolený provozní tlak tepelné soustavy [MPa]

D ... zvolený vnější průměr potrubí podle ČSN 42 5715 [mm]

$\sigma_{D,t}$... dovolené napětí potrubí v tahu vypočítaný z rovnice 6.15 [MPa]

v_s ... zvolený součinitel svarového spoje (více příloha č. 3) [mm]

c_1 ... zvolený přídavek na korozi (více příloha č. 3) [mm]

c_2 ... orientačně zvolený přídavek na výrobní nepřesnosti [mm]

Výpočet tepelné ztráty na jeden metr délky předizolovaného potrubí:

$$q_{1m} = \left(\frac{t_{90} + t_{70}}{2} - t_{zemina} \right) \cdot k = \left(\frac{90 + 70}{2} - 6 \right) \cdot 0,44 = \underline{32,56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}} \quad (6.17)$$

kde:

t_{90} ... navrhovaná teplota topné větve [$^{\circ}\text{C}$]

t_{70} ... navrhovaná teplota zpětné větve [$^{\circ}\text{C}$]

t_{zemina} ... orientačně zvolená teplota zeminy [$^{\circ}\text{C}$]

k ... součinitel přestupu tepla izolace (více příloha č. 5) [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Výpočet vnitřního průměru potrubí ze zvoleného vnějšího průměru podle normy:

$$d_n = D - 2 \cdot t_n = 76,1 - 2 \cdot 2,9 = \underline{70,3 \text{ mm}} \quad (6.18)$$

kde:

D ... zvolený vnější průměr podle normy ČSN 42 5715 [mm]

t_n ... zvolená tloušťka podle normy ČSN 42 5715 [mm]

Výpočet změny rychlosti oběhové vody vlivem změny vnitřního průměru potrubí:

$$w_{\text{H}_2\text{O}, n} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}{\frac{\pi \cdot d_n^2}{4} \cdot \rho_{90}} = \frac{2,57}{\frac{\pi \cdot (70,3 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 965,7} = \underline{0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (6.19)$$

kde:

$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$... množství oběhové vody vypočtená z rovnice 6.13 [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]

ρ_{90} ... hustota vody topné větve při teplotě 90°C (určeno z EES) [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

d_n ... vnitřní průměr vypočítaný v rovnici 6.18 [mm]

Výpočet rozdílu poklesu teploty na sto metrů vzdálené přímé předizolovaného potrubí:

$$\Delta t = \frac{q_{1m}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \Delta L = \frac{32,56 \cdot 10^{-3}}{2,57 \cdot 4,18} \cdot 100 = \underline{0,3^{\circ}\text{C}} \quad (6.20)$$

kde:

q_{1m} ... měrná ztráta tepla potrubí vypočtená z rovnice 6.17 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$]

$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$... množství oběhové vody vypočtená z rovnice 6.13 [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$]

$c_{\text{H}_2\text{O}}$... měrná tepelná kapacita vody (literatura [3]) [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ΔL ... zvolená odstupňovaná délka potrubí [m]

Poznámka:

Teoreticky lze dopravit teplo, aniž by klesla pod teplotu 65 °C do vzdálenosti topné větve přes 8 300 m, v případě teploty minimálně 55 °C pro koncového uživatele, do vzdálenosti topné větve 11 600 m. V bodě 6.2.2 Ekonomické zhodnocení projektu teplovodu na straně 53, budu řešit maximální vzdálenost topné větve předizolovaného teplovodu 8 000 m, za teoretického předpokladu, že na spotřebitelské výměňkové stanici se ztratí 5 °C, takže koncový uživatel bude mít na své straně k dispozici teplou vodu s maximální teplotou 60 °C.

Výpočet Reynoldsova čísla:

$$Re = \frac{w_{H_2O,n} \cdot d_n}{\nu_{90}} = \frac{0,7 \cdot 70,3 \cdot 10^{-3}}{3,259 \cdot 10^{-7}} = 150997 \quad (6.21)$$

kde:

$w_{H_2O,n}$... přepočtená projektovaná rychlost v potrubí z rovnice 6.19 [$m \cdot s^{-1}$]

d_n ... vnitřní průměr vypočítaný v rovnici 6.18 [mm]

ν_{90} ... kinematická viskozita při teplotě 90 °C (určeno z EES) [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Výpočet třecího součinitele podle Kármána pro turbulentní proudění:

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \cdot \log \frac{d_n}{2 \cdot k}\right)^2} = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \cdot \log \frac{70,3}{2 \cdot 0,3}\right)^2} = 0,0289 \quad (6.22)$$

kde:

d_n ... vnitřní průměr vypočítaný v rovnici 6.18 [mm]

k ... projektovaná absolutní drsnost stěny potrubí (literatura [2]) [mm]

Výpočet tlakové ztráty na sto metrech dlouhého předizolovaného potrubí:

$$\Delta p_z = \lambda \cdot \frac{\Delta L}{d_n} \cdot \frac{w_{H_2O,n}^2}{2} \cdot \rho_{90} = 0,0289 \cdot \frac{100}{70,3 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{0,7^2}{2} \cdot 965,7 = 9726 \text{ Pa} \quad (6.23)$$

kde:

λ ... třecí součinitel potrubí vypočítaný v rovnici 6.22 [mm]

ΔL ... zvolená odstupňovaná délka potrubí [m]

d_n ... vnitřní průměr vypočítaný v rovnici 6.18 [mm]

$w_{H_2O,n}$... přepočtená projektovaná rychlost v potrubí z rovnice 6.19 [$m \cdot s^{-1}$]

ρ_{90} ... hustota vody topné větve při teplotě 90 °C (určeno z EES) [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

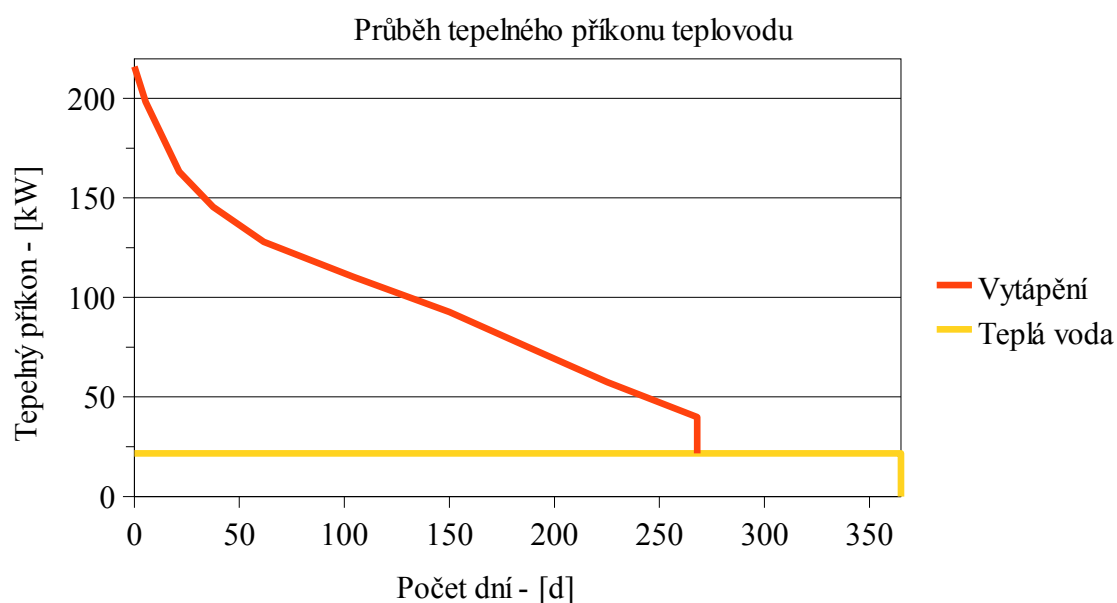
Poznámka:

Na straně vratné větve je tlaková ztráta na sto metrech 9 851 Pa.

Určení teoretického množství tepla dodaného teplovodem spotřebiteli:

Z obecné křivky trvání teplot podle ČSN 38 3350 v příloze č. 6, jsem určil křivku průběhu tepelného příkonu teplovodu během roku, více graf 6.3 níže, abych zjistil teoretické množství tepla pro případného spotřebitele. Na stejnojmenném grafu jsou znázorněny průběhy křivek pro vytápění a přípravu teplé vody. Celkové dodané množství tepla se po výpočtu integrálu pod křivkou grafu 6.3 rovná $2\,330 \text{ GJ} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Výsledný koeficient využití tepelného výkonu motoru se po zavedení centralizovaného zásobování tepla navýší z původních 10 % na celoroční průměr cca 33 %. Tedy spotřeba tepla se zvedne ze současných 1 020 GJ na 3 350 GJ.



Graf 6.3: Změna tepelného příkonu teplovodu během roku

Délka trasy	Cena za PIP + doprava	Cena výkopu zeminy	Cena zásypu zeminy	Pokládka potrubí + montáž	Drenážní posyp	Neuvedené náklady	Celkové investice	Orientační roční zisk pro návrat do 20 let	Orientační cena tepla s návratností do 20 let
[m]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč · rok ⁻¹]	[Kč · GJ ⁻¹ · rok ⁻¹]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 000	981 000	132 000	325 100	170 000	39 200	150 000	1 797 300	89 865	40
2 000	1 962 000	264 000	650 200	340 000	78 400	300 000	3 594 600	179 730	81
3 000	2 943 000	396 000	975 300	510 000	117 600	450 000	5 391 900	269 595	121
4 000	3 924 000	528 000	1 300 400	680 000	156 800	600 000	7 189 200	359 460	161
5 000	4 905 000	660 000	1 625 500	850 000	196 000	750 000	8 986 500	449 325	201
6 000	5 886 000	792 000	1 950 600	1 020 000	235 200	900 000	10 783 800	539 190	242
7 000	6 867 000	924 000	2 275 700	1 190 000	274 400	1 050 000	12 581 100	629 055	282
8 000	7 848 000	1 056 000	2 600 800	1 360 000	313 600	1 200 000	14 378 400	718 920	322
9 000	8 829 000	1 188 000	2 925 900	1 530 000	352 800	1 350 000	16 175 700	808 785	362
10 000	9 810 000	1 320 000	3 251 000	1 700 000	392 000	1 500 000	17 973 000	898 650	403
11 000	10 791 000	1 452 000	3 576 100	1 870 000	431 200	1 650 000	19 770 300	988 515	443
12 000	11 772 000	1 584 000	3 901 200	2 040 000	470 400	1 800 000	21 567 600	1 078 380	483
13 000	12 753 000	1 716 000	4 226 300	2 210 000	509 600	1 950 000	23 364 900	1 168 245	524
14 000	13 734 000	1 848 000	4 551 400	2 380 000	548 800	2 100 000	25 162 200	1 258 110	564
15 000	14 715 000	1 980 000	4 876 500	2 550 000	588 000	2 250 000	26 959 500	1 347 975	604
16 000	15 696 000	2 112 000	5 201 600	2 720 000	627 200	2 400 000	28 756 800	1 437 840	644

Tabulka 6.4: Orientační investice spojené s vybudováním teplovodu DN 65 včetně orientační ceny za dodané teplo

Poznámka:

PIP znamená předizolované potrubí.

Ceník byl sestaven podle poskytnutých informací firem Erding a.s., Slavkovská stavební, Frýdecká skládka a.s. a Tenza a.s. (ceny jsou bez DPH).

Orientační zisk a orientační cena tepla (oba bez DPH) se vztahuje bez ročních provozních nákladů za předpokladu roční spotřeby koncového uživatele(ů) ve výši 2 330 GJ · rok⁻¹.

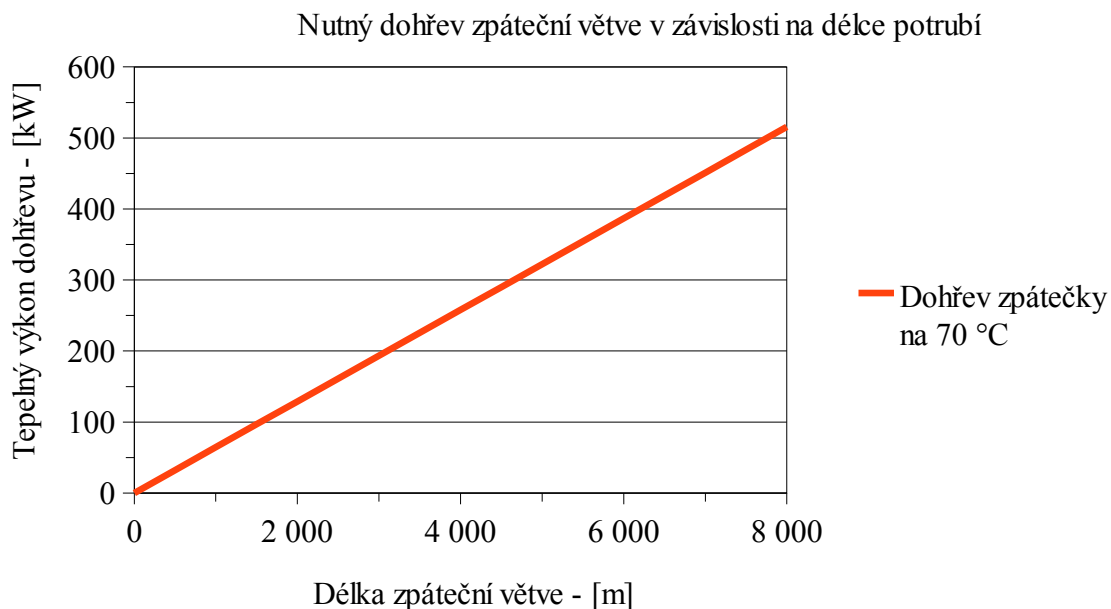
6.2.2 Ekonomické zhodnocení projektu teplovodu

Teplovod je navržen orientačně, proto tabulka 6.4 výše udává přehled orientačních nákladů (bez DPH) potřebných na zbudování teplovodu DN 65 do maximální délky 16 km. V tabulce je také obsažen nutný hrubý orientační zisk, který je třeba každým rokem dosahovat, aby návratnost teplovodu, jehož životnost může být až 50 let, byla zaručena v dvacátém roku provozování a k tomu navržená odpovídající cena pro uživatele za odebraný jeden gigajoule tepla. Minimální cena za teplo může být však účtována podle platné vyhlášky ERÚ ve výši $100 \text{ Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$, proto by v případě odběru tepla s délkou teplovodu zhruba do 2,5 km, mělo být na tuto vyhlášku pamatováno, neboť v tabulce 6.4 je pro tuto trasu cena za teplo vyčíslena pod $100 \text{ Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$. Do ročního orientačního zisku stejně jako následné ceny za teplo nejsou započteny roční provozní náklady a jiné náklady definované podle každoročního cenového rozhodnutí ERÚ, které s výrobou tepla souvisí. S těmito náklady se výsledná cena tepla může navýšit i přes zmíněnou 100 Kč .

6.2.3 Závěrečné zhodnocení využití odpadního tepla k zásobování tepla

I když je teoreticky možné vybudovat délku teplovodu 16 km podle tabulky 6.4 výše, aniž teplota poklesne podle vyhlášky č. 194/2007 Sb. pod definovanou spodní hranici, jeho vstupní náklady na realizaci však narostou až na 29 mil. Kč a pro malou bioplynovou stanici mohou být i nerealizovatelné. Je třeba mít na paměti, že do výpočtu nejsou započítány potřebné armatury, různě tvarované části potrubí, orgány regulace, kontroly a řízení, předávací stanice a čerpací stanice. Tyto části lze orientačně navýšit o $20 \div 50 \%$ k celkové investici spojené s vybudováním teplovodu. V takovém případě se investice dále navýší na celkových $35 \div 43$ mil. Kč. Návratnost těchto investic se tudíž musí promítnout do ceny odebraného tepla koncovým uživatelem. Tato cena tepla z bioplynové stanice by měla být nastavena tak, aby byla cenově výhodná oproti dosavadním cenám tradičního uhlí, dřeva nebo zemního plynu v okolí. Z údajů energetického regulačního úřadu o cenách tepla v ČR se ceny tepla pro rodinné domy, vybavené vlastní kotelnou, pohybují v celorepublikovém průměru u uhlí $517,31 \text{ Kč}$, u biomasy a jiných OZE $496,12 \text{ Kč}$, u zemního plynu $563,54 \text{ Kč}$ a u jiných paliv $596,94 \text{ Kč}$ (všechny ceny jsou s DPH, údaje z roku 2012 [19]). Při respektování nejnižší celorepublikové ceny za OZE kolem 500 Kč je možná vzdálenost teplovodu, podle tabulky 6.4 výše, snížena z 16 km na 12 km, ale to pouze za délku teplovodu. Při zahrnutí navýšení o $20 \div 50 \%$ dílčích částí k teplovodu, bude výsledná délka teplovodu snížena na $8 \div 10 \text{ km}$.

Další nepříjemností je vychlazování zpáteční větve pod projektovanou teplotu 70 °C. Podle grafu 6.4 níže, je pokles lineárně závislý na délce vratné větve. V případě délky teplovodu 8 ÷ 10 km je nutné dohřát zpátečku na 70 °C instalovaným zdrojem ve výši 250 ÷ 325 kW_t, což představuje více než odpadní tepelný výkon z bioplynové stanice, který je možné využít v měsíci prosinec a obecně pro zimní období pro uživatele. Délku teplovodu je proto vhodné volit do 2 km, s ohledem na dohřev. Nutná cena za teplo klesne orientačně na 81 Kč · GJ⁻¹ (bez DPH). Při vhodném započtení proměnných a pevných nákladů do ceny tepla, platně definované podle každoročního cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu, může být výsledná cena stále pod republikový průměr všech dostupných paliv v oblasti. Na straně zpětné větve, tak bude třeba ohřát vodu s tepelným zdrojem 50 kW_t, graf 6.4. Navíc bude třeba ještě pořídit zdroje ve výši 145 kW_t, v případě výpadku kogenerační jednotky, k zaručení minimálního pokrytí tepla v nejstudenějším měsíci v oblasti. Kotle budou s velkou pravděpodobností spalovat dřevní peletky, neboť v případě spalování bioplynu, by výsledný vysoký výkon způsobil nedostatek bioplynu, protože plynojemy se obvykle navrhují na 12 ÷ 24 hodinovou spotřebu [11].



Graf 6.4: Velikost instalovaného tepelné výkonu k dohřevu zpětné větve na teplotu 70 °C

S ohledem na výše zmíněné parametry k dálkovému rozvodu, je výhodnější dopravit teplo k bližšímu odběrateli, kde náklady na potrubní vedení budou nižší nebo se zaměřit

pouze na projekty vedoucí k vlastnímu zhodnocení odpadního tepla v areálu družstva jako v případě sušení řeziva.

Projekt také pro jednoduchost předpokládá pouze bezkanálové vedení, na určitých místech může být potrubí i vyzdviženo na povrch (např. křížení s řekou). Ztrátu tepla v takovém případě lze považovat za téměř shodnou se ztrátou v podzemním vedením.

7 Konstrukční návrh výměníku

Výkres výměníku je přiložen k diplomové práci. Pro výpočet výměníku jsem použil vstupních hodnot z údajů vedených zemědělským družstvem a vzorců z literatur [5], [20], [3] a [2].

8 Seznam použité literatury

- [1] RUTZ, D. a kolektiv. *Udržitelné využívání tepla z bioplynových stanic*. Mnichov: WIP Renewable Energies, 2012. 86s.
- [2] DRÁBKOVÁ, S. - KOZUBKOVÁ, M. *Cvičení z mechaniky tekutin*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2004. 141s. ISBN 80-248-0664-9.
- [3] KADLEC, Z. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009. 100s. ISBN 978-80-7385-061-6.
- [4] KYSELA, L. *Využití druhotných zdrojů energie*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2007. 46s.
- [5] KYSELA, L. - MÍKA, J. - KYSELOVÁ, S. *Teplárenství*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2011. 108s.
- [6] KYSELA, L. - TOMČALA, J. *Spalovací motory*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2003. 97s.
- [7] HORÁKOVÁ, A. - MRÁZEK, K. *Klimatologické údaje*. Praha: ARCADIS Project Management s.r.o., 2009. 274s.
- [8] JAKUBES, J. - BELLINGOVÁ, H. - ŠVÁB, M. *Moderní využití biomasy - Technologické a logistické možnosti*. Praha: Česká energetická agentura, 2006. 66s.
- [9] SOUČKOVÁ, H. *Využití bioplynu v zemědělství*. Praha: Česká energetická agentura, 2001. 44s.
- [10] KRATOCHVÍLOVÁ, Z. a kolektiv. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. Praha: CZ Biom, 2009. 160s.
- [11] TRNOBRANSKÝ, K. *Spalování bioodpadů s použitím fermentačního reaktoru a kogenerační jednotky*. Praha: Česká energetická agentura, 1998. 81s.
- [12] KÁRA, J. - PASTOREK, Z. - PŘIBYL, E. a kol. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Praha: VÚZT, v.v.i., 2007. 117s. ISBN 978-80-86884-28-8.
- [13] DLOUHÝ, T. *Kotelny a kogenerační jednotky*. Praha: ČVUT Praha, . 92s.
- [14] TRNOBRANSKÝ, K. - VALENTOVÁ, M. - DUFOUR, R. *Zlepšení ekonomie provozu kogeneračních jednotek využitím doprovodných technologií pro zrovnoměnění ročního odběru tepla*. Praha: Česká energetická agentura, 1999. 67s.
- [15] KRBEK, J. - POLESNÝ, B. *Kogenerační jednotky zřizování a provoz*. Praha: GAS s.r.o., 2007. 206s. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [16] FIRMA RAEN. *Návrh a provoz kogeneračních jednotek*. Praha: Raen s.r.o., 2000. 46s.
- [17] KAJAN, M. - LHOTSKÝ, R. *Možnosti zvýšení výroby bioplynu u stávajících zařízení v ČR*. Třeboň: ENKI, o.p.s. - Česká energetická agentura, 2006. 123s.
- [18] LEINVEBER, J. - VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra, 2005. 908s. ISBN 80-

7361-011-6.

[19] Energetický regulační úřad [online] . Dostupné z: <http://www.eru.cz/dias-browse_articles.php?parentId=137&deep=off&type=> .

[20] Energetika : návody k výpočtům. Tabulky Vysoké školy chemicko-technologické v Praze [online] . Dostupné z: <<http://eso.vscht.cz/predmety/N218004/>> .

[21] Firma MWM [online] . Dostupné z: <<http://www.mwm.net/en/>> .

[22] Firma Johann HochReiter s.r.o. [online] . Dostupné z: <<http://www.johann-hochreiter.cz/>> .

[23] Zemědělské družstvo Jeseník [online] . Dostupné z: <<http://www.zdjesenik.cz/>> .

[24] Český hydrometeorologický ústav [online] . Dostupné z: <www.chmu.cz> Historická data územních srážek.

[25] Oficiální stránky lázeňského města Jeseník [online] . Dostupné z: <<http://www.jesenik.org/>> .

9 Seznam příloh

Příloha č. 1 Jednoduché schéma zapojení bioplynové stanice Jeseník

Příloha č. 2 Blokové schéma zapojení motoru

Příloha č. 3 Výpočet potrubí

Příloha č. 4 Výrobní program trubek Třineckých železáren

Příloha č. 5 Projekční podklady návrhu izolace firmy Erding a.s.

Příloha č. 6 Obecná křivka trvání teplot podle ČSN 38 3350

Seznam obrázků

Obrázek 1: Balance produktů v teplárně (kogenerační jednotce).....11

Obrázek 2: Zjednodušený přehled energetické bilance17

Obrázek 3: Bilanční znázornění toků elektřiny.....25

Seznam tabulek

Tabulka 5.1: Chemické složení a výhřevnost jeseníckého bioplynu za rok 2013.....36

Tabulka 5.2: Roční přehled vstupní organické hmoty ke zpracování v bioplynové stanici včetně výpalků.....37

Tabulka 5.3: Hlavní dosažené hodnoty bioplynové stanice Jeseník za rok 2013.....38

Tabulka 6.1: Přehled množství usušeného druhu řeziva za rok 2013.....41

Tabulka 6.2: Přehled potřebného tepla pro sušení smrku a buku ve třech komorách včetně spotřeby elektrické energie ventilátory za rok 2013.....	42
Tabulka 6.3: Přehled hlavních nákladů na realizaci sušení řeziva.....	44
Tabulka 6.4: Orientační investice spojené s vybudováním teplovodu DN 65 včetně orientační ceny za dodané teplo.....	52

Seznam grafů

Graf 1.1: Vliv měrné úspory na teplotě modulů a účinnosti kogenerace.....	16
Graf 5.1: Přehled výroby elektrické energie kogenerační jednotky MWM-Deutz v jednotlivých měsících za rok 2013.....	26
Graf 5.2: Zobrazení vyvedeného, spotřebovaného a nakoupeného množství elektrické energie zemědělských družstev za rok 2013.....	27
Graf 5.3: Přehled průměrných denních elektrických výkonů kogenerační jednotky za rok 2013.....	29
Graf 5.4: Grafické zobrazení průměrného koeficientu využití elektrického výkonu v jednotlivých měsících za rok 2013.....	30
Graf 5.5: Měsíční situace spotřeby tepla areálem zemědělského družstva a bioplynovou stanicí za rok 2013.....	32
Graf 5.6: Grafické zobrazení průměrného koeficientu využití tepelného výkonu v jednotlivých měsících za rok 2013.....	33
Graf 5.7: Průběh průměrného využitého tepelného výkonu kogenerační jednotky k potřebám pokrytí spotřeby tepla za rok 2013.....	34
Graf 6.1: Optimální nastavení sušicího cyklu pro všechny druhy řeziva v letním období. .	40
Graf 6.2: Zobrazení koeficientu využití tepelného výkonu motoru v současné situaci za rok 2013 a po možném zavedení sušení.....	43
Graf 6.3: Změna tepelného příkonu teplovodu během roku	51
Graf 6.4: Velikost instalovaného tepelného výkonu k dohřevu zpětné větve na teplotu 70 °C	54